

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Vysokorychlostní železniční doprava**  
**High-speed rail transport**

**2018**

**Tomáš Konečný**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Konečný**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: Vysokorychlostní železniční doprava  
High-speed rail transport

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Nejvýznamnější vysokorychlostní železniční systémy ve světě
3. Vlaky vyšších rychlostí v České republice
4. Perspektiva vysokorychlostní dopravy na železnici
5. Porovnejte jednotlivé systémy s ohledem na možné využití v ČR

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1]<http://www.uic.org/highspeed>  
[2][http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/studies/doc/2010\\_high\\_speed\\_rail\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/studies/doc/2010_high_speed_rail_en.pdf)  
[3]<http://www.cedop.info/wp-content/uploads/2014/05/Grein-DB-HSR-in-Germany.pdf>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

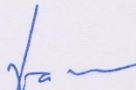
Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Josef Paleček, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 30.04.2018


  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 17. dubna 2018

  
.....  
podpis studenta

Rád bych poděkoval prof. Ing. Josefu Palečkovi, CSc. za ochotu, vstřícnost, trpělivost, odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce. Dále musím zmínit pány Ing. Vladimíra Janíka a Ing. Marcela Mitysku, kteří mne vyučovali na střední průmyslové škole v Břeclavi. Poskytli mi velmi ochotně rady a poznatky k mé práci, tímto jim děkuji.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá rozbořem vysokorychlostní železniční dopravy ve světě, ale také v České republice. Obsahem teoretické části je seznámení s historií nejvýznamnějších vysokorychlostních tratí ve světě, a také s historií vlaků vyšších rychlostí v České republice. V této části rovněž rozebírám výhody a nevýhody vysokorychlostních železnic. U systému Maglev se zabývám jeho zavěšením podvozku jak elektromagnetickým, tak elektrodynamickým. Dále, je také má bakalářská práce věnována perspektivě vysokorychlostní dopravy na železnici v Evropě a popisem lineárnímu motoru.

## **Klíčová slova**

Železnice; vlak; VRT; Podvozek; Maglev; ICE; Pendolino; Railjet; AGV; TGV; Šinkansen; Lineární motor;

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with highspeed rail transportation in the Czech republic and in the world. The introduction of the theoretical part is devoted to the history of the most important highspeed railways in the world and the history of czech faster trains. In this part I analysis advantages and disadvantages of the highspeed railways. The thesis is further about the perspective of highspeed transportation in Europe, linear engines.

## **Key words**

Railway; train; high-speed train; Maglev; VRT; Shinkansen; Pendolino; TGV; Railjet; linear engine;

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
ČSD	Československé dráhy
TEE	Trans Europ Express
ICE	Intercity Expres
TGV	Train à Grande Vitesse
AGV	Automotrice à Grande Vitesse
VRT	Vysokorychlostní trať
ČR	Česká republika
TEE	Trans Europ Express
EMS	Electromagnetic suspension
EDS	electrodynamic suspension
LGV	Ligne à Grande Vitesse

## Seznam ilustrací

Obrázek 1.1:	Šlechtična [25] .....	- 6 -
Obrázek 1.2:	Trans Europ Express [26] .....	- 7 -
Obrázek 1.3:	První Šinkansen [27] .....	- 7 -
Obrázek 1.4:	Aerotrain 180[28] .....	- 8 -
Obrázek 1.5:	ICE-1[29] .....	- 9 -
Obrázek 1.6:	První pendolino ETR 401[30] .....	- 10 -
Obrázek 1.7:	TGV rychlostní rekord [31] .....	- 11 -
Obrázek 1.8:	Mapa vysokorychlostní vlaků TGV [32] .....	- 14 -
Obrázek 1.9:	TGV La Poste [33] .....	- 15 -
Obrázek 1.10:	TGV Duplex [34] .....	- 16 -
Obrázek 1.11:	AGV [35] .....	- 18 -
Obrázek 1.12:	Šinkansen [36] .....	- 20 -
Obrázek 1.13:	Síť Šinkansen [37] .....	- 21 -
Obrázek 1.14:	Stanice Shin Osaka .....	- 22 -
Obrázek 1.15:	Stanice Shin Osaka .....	- 23 -
Obrázek 1.16:	Šinkansen .....	- 23 -
Obrázek 1.17:	ICE [38] .....	- 24 -
Obrázek 1.18:	ICE 3 [39] .....	- 26 -
Obrázek 1.19:	ICE síť [40] .....	- 27 -
Obrázek 1.20:	Šanghai Transrapid [41] .....	- 28 -
Obrázek 1.21:	Maglev v Japonsku [42] .....	- 29 -
Obrázek 1.22:	EDS systém [43] .....	- 31 -
Obrázek 1.23:	Pendolino [44] .....	- 32 -
Obrázek 1.24:	Trasa Pendolina [45] .....	- 33 -
Obrázek 1.25:	RailJet [46] .....	- 35 -
Obrázek 1.26:	RailJet [47] .....	- 36 -
Obrázek 1.27:	Frecciarossa 1000 [48] .....	- 37 -
Obrázek 1.28:	Grafický návrh budoucích vlaků [49] .....	- 38 -
Obrázek 1.29:	Schéma lineárního motoru [50] .....	- 40 -
Obrázek 1.30:	Závislost délky vedení na proudové zatížitelnosti[51] .....	- 43 -



## Obsah

1	Úvod.....	- 5 -
2	Historie.....	- 6 -
	2.1 Výhody a nevýhody vysokorychlostní železnice .....	- 12 -
3	Nejvýznamnější železniční systémy ve světě.....	- 14 -
	3.1 Rychlovlaky TGV .....	- 14 -
	3.2 Významné typy TGV .....	- 15 -
	3.2.1 TGV Paris-Sud-Est (TGV PSE) .....	- 15 -
	3.2.2 TGV La Poste.....	- 15 -
	3.2.3 TGV Atlantique (TGV-A).....	- 16 -
	3.2.4 TGV Réseau (TGV-R) .....	- 16 -
	3.2.5 TGV Duplex .....	- 16 -
	3.2.6 TGV Paris-Ostfrankreich-Süddeutchland ( TGV POS) .....	- 17 -
	3.3 AGV .....	- 17 -
	3.3.1 Vývoj vlaků .....	- 17 -
	3.3.2 Technické parametry Pégase .....	- 18 -
	3.4 Šinkansen .....	- 19 -
	3.4.1 Tratě.....	- 20 -
	3.5 Osobní zkušenost s dopravou v Japonsku a samotnou VRT .....	- 21 -
	3.6 ICE .....	- 24 -
	3.6.1 Historie .....	- 24 -
	3.6.2 První generace .....	- 25 -
	3.6.3 Druhá generace.....	- 25 -
	3.6.4 Třetí generace .....	- 25 -
	3.6.5 Čtvrtá generace.....	- 26 -
	3.6.6 Ostatní typy .....	- 27 -
	3.7 Maglev.....	- 27 -
	3.7.1 Historie .....	- 28 -
	3.7.2 Princip .....	- 30 -
4	Vlaky vyšších rychlostí v České republice.....	- 32 -

4.1	Pendolino.....	- 32 -
4.1.1	Technické parametry .....	- 34 -
4.1.2	Vozová skříň.....	- 34 -
4.1.3	Podvozek .....	- 34 -
4.1.4	Pneumatické brzdy .....	- 34 -
4.2	Railjet .....	- 35 -
4.2.1	Historie .....	- 35 -
4.2.2	Technické parametry .....	- 36 -
5	Perspektiva vysokorychlostní dopravy na železnici v Evropě .....	- 37 -
6	Lineární motor.....	- 39 -
6.1	Historie .....	- 39 -
6.1.1	USA .....	- 39 -
6.1.2	Německo.....	- 39 -
6.1.3	Japonsko .....	- 39 -
6.2	Princip .....	- 40 -
6.2.1	Synchronní lineární motor.....	- 40 -
7	Přenosová schopnost vedení.....	- 41 -
7.1	Přenosová schopnost vedení závislé na jeho délce.....	- 42 -
7.1.1	Úbytek napětí pro induktivní a kapacitní odběr .....	- 42 -
7.2	Výpočet přenosová schopnost vedení závislé na jeho délce .....	- 43 -
8	Závěr .....	- 45 -
	Použitá literatura .....	I

# 1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je seznámení s problematikou vysokorychlostní železniční dopravy. Objasnit druhy těchto kolejových vozidel, jejich základní technické parametry, princip činnosti a místo působení.

Druhy vysokorychlostních kolejových vozidel. Soustředil jsem se na druhy této dopravy spíše v Evropě a Asii, konkrétně Francii, Španělsko, Německo ale i Japonsko, které jsem navštívil a mám osobní zkušenost s tímto druhem dopravy. Druhou kapitolu s názvem nejvýznamnější železniční systémy, věnuji rychlovlakům TGV a AGV, ICE, Šinkansenem a poté i vlakům využívající magnetické levitace Maglev, které v dnešní době nejsou rozšířeny, přestože dosahují velkých rychlostí poměrně hravě avšak důvodem je jejich vysoká pořizovací cena. Poté jsem v kapitole zmínil stručně vysokorychlostní železniční svršek, bez kterého by nebylo možné se takovými rychlostmi vůbec pohybovat. V další kapitole rozebírám také železniční dopravu v ČR. Vzhledem k tomu, že u nás bohužel nejedí žádný vlak, který by se dal označit jako vysokorychlostní, zmínil jsem alespoň soupravy vyšších rychlostí. V závěru práce je objasněna perspektiva vysokorychlostní železniční dopravy v Evropě ale také v České republice.

Pokračoval jsem popisem lineárního motoru, historií, vývojem a principem činnosti. Do práce jsem zařadil také kapitolu o přenosové schopnosti vedení.

## 2 Historie

V průběhu prvních sto let od vzniku, neměla osobní železniční doprava téměř žádnou konkurenci. Ta ovšem přišla s nástupem motorové silniční dopravy a v pozdější době i letecké dopravy. Ve 20. let minulého století v oblasti osobní dopravy začal konkurenční boj mezi železniční dopravou a její konkurencí. Ten se výrazně přiosřil v období po 2. světové válce.

Čas hrál, hraje a bude hrát podstatnou roli u pasažérů ve výběru dopravy, a tak rychle se rozvíjející silniční a letecká doprava začala přebírat železniční dopravě cestující. Železniční doprava se postupně stávala symbolem pomalé dopravy. [1]



Obrázek 1.1: *Šlechtična* [25]

Z počátku se vyspělé evropské železniční správy snažily na tuto skutečnost reagovat různými úpravami k dosažení vyšší rychlosti, jako třeba úpravy trati, výměna parních rychlíků za motorové a jiné. Tyto úpravy probíhaly mimo jiné i u ČSD.

Tento vývoj byl ovšem přerušen 2. světovou válkou. Ihned po válce přišla další vlna přebírání pasažérů od konkurenční silniční a letecké dopravy. Nastala ovšem i další etapa zrychlování motorových jednotek na železnici. Také i ČSD dokázala reagovat na tyto události. Na dálkové spoje nasadila nejdříve motorové německé jednotky a později maďarské motorové jednotky Ganz. Díky tomu se v západní části Evropy vytvořila síť expresů TEE. Konkurenční boj nezpomaloval, a tak se postupně nejdůležitější tratě upravovaly na vyšší rychlost, 160 km/h a později až na 200 km/h.



Obrázek 1.2: *Trans Europ Express* [26]

Později ovšem tyto jednotky neměly dostatečný požadovaný výkon. Dálkovou dopravu ovládly klasické soupravy, vedené vysoce výkonnými elektrickými lokomotivami s připojenými komfortními vozy. Do popředí se dostaly především francouzské a německé železnice.

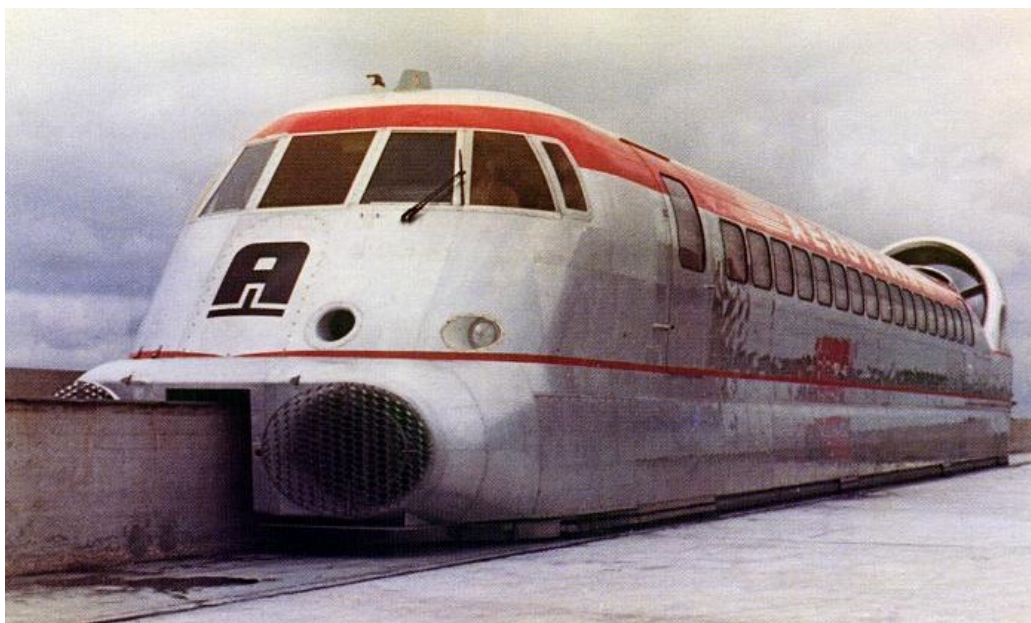
Další pokrok byl možný jedině výstavbou nových tratí s lepšími parametry, které povedou k vyšší rychlosti. První vysokorychlostní trať vybudovali Japonci v roce 1964 mezi nejlidnatějšími městy Tokiem a Ósakou. Elektrické jednotky, které na této trati působily, se jmenovaly Shinkansen a dosahovaly plynulé rychlosti 210 km/h. V té době se jednalo o naprostý přelom. Později však Japonci postupně zvýšili rychlost těchto vlaků až na 300 km/h. [2]



Obrázek 1.3: *První Šinkansen* [27]



Vývoj japonských vysokorychlostních tratí se přenesl opět do Evropy, kde na nich začali pracovat Němci, Francouzi, či Italové. Prvním neúspěšným pokus byl aerotrain. Fungoval na principu vztlaku nad betonovou dráhou a byl poháněný tryskovými motory, které ovšem byly velmi neekonomické a vysoce energeticky náročné. Dalšími pokusy byly například vysokorychlostní vlaky poháněné plynovými turbínami. Francouzi také řešili otázku spolupráce mezi sběračem a trakčním vedením při vysokých rychlostech.



Obrázek 1.4: *Aerotrain 180*[28]

Na základě všech těchto zkušeností vyvinuli první turbínovou prototypovou jednotku označenou TGV 001, s kterou 8. 12. 1973 dostáhli rychlosti 318 km/h. Bohužel ropná krize přinutila konstruktéry se opět vrátit k elektrické trakci.

Schválení prvního francouzského vysokorychlostního vlaku byl běh na dlouhou trať. První projekt byl představen veřejnosti v roce 1976, odsouhlasen byl až v roce 1976, tehdejším předsedou vlády Jacquesem Chiracem. Tento souhlas znamenal i stavbu první vysokorychlostní trati ve Francii a to z Paříže do Lyonu. První úsek byl dokončen 22. 9. 1981. Veškeré nové konstrukční prvky elektrických jednotek TGV i infrastruktury, zde byly testovány výrobcem, kterým byla firma Alstom Atlantique. Jednotky měly mechanickou část z turbínového prototypu, avšak pohon byl už elektrický. Na trati mezi Paříží a Lyonem byl zahájen běžný provoz rychlostí 260 km/h, ovšem po několika letech byla rychlost zvýšena na 270 km/h. [1]

Druhá evropská země začínající používat vysokorychlostní železniční dopravu, bylo Německo. To hledalo jiný způsob dopravy, než po věčně ucpaných dálnicích, našli ji v železniční dopravě. Aby se železnice stala opět využívanou a vyhledávanou pro dopravu, muselo dojít k výraznému vylepšení její kvalitativních a rychlostních parametrů. Nejdříve se posunula rychlost

na vybraných úsecích na 200 km/h a také došlo k nasazování nových elektrických lokomotiv. Postupně se vytvořila síť IC a EC. Bylo také třeba dodržet zásadu, že cestování vlakem musí být výrazně časově kratší než autem, kvůli nepřímosti cesty. Proto tehdejší západoněmecká vláda rozhodla o vybudování vysokorychlostní sítě. V roce 1981 byla zahájena výstavba dlouhé trati Hannover - Würzburg, s celkovou délkou 327 km. Trať byla uvedena do provozu v roce 1991 a to i přesto že čelila 98 soudním žalobám. Rychlost na trati byla navržena na 250 km/h, přičemž 37% trati leží v 61 tunelech a 9% leží na 294 mostech, kvůli hornaté krajině.

Jízdní doba na trati mezi Hannoverem a Würzburgem byla zkrácena na polovinu. V roce 1991 byla také uvedena do provozu druhá nejstarší trať v Německu, a to mezi Mannheimem a Stuttgartem. Současně s výstavbou vysokorychlostní tratě byly vyvíjeny a vyrobeny vysokorychlostní elektrické jednotky ICE-1 mající maximální rychlost 280 km/h. Zahájení provozu vysokorychlostního železničního systému v Německu se tedy datuje na rok 1991, kdy byla zavedena nová kategorie vlaků ICE. [3]



Obrázek 1.5: ICE-1[29]

Itálie se stala třetí evropskou zemí s vysokorychlostní dopravou. Vystavět první italskou vysokorychlostní trať trvalo dlouho. Vedla hlavním italským přepravním směrem mezi Římem a Florencií. V roce 1992 byla uvedena do provozu celá vysokorychlostní trať, ovšem již 15 let zpět, v roce 1977 byl uveden do provozu první úsek. Tento úsek byl paradoxně první evropskou vysokorychlostní tratí. Výstavba prvních úseků byla zpomalována kvůli nedostatku finančních



prostředků či obtížným terénem. Italové pojmenovali trať "Diretissima" a vzhledem k terénním podmínkám umožnila nová trať výrazné zrychlení mezi nejvýznamnějšími italskými městy. První elektrické jednotky byly zprovozněny až v roce 1996, kvůli zpoždění speciálních vysokorychlostních souprav. Železniční doprava je v Itálii velice využívaným prostředkem, a tak italští odborníci hledali řešení pro zrychlení již stávajících tratí, jelikož vybudování vysokorychlostních tratí trvá dlouho a nelze je umístit všude. Odborníci přišli s řešením naklápění vozových skříní u tratí s častými oblouky malých poloměrů. Italové jako jedni z mála evropských zemí dokázali toto řešení dovést až do úspěšného konce, v roce 1976 Italské státní dráhy zahájili provoz prototypu vlaku vyráběného ve firmě Fiat. Pro tento vlak a všechny následující se vžil název "Pendolino". Při průjezdu obloukem jsou vozové skříně naklápěny pomocí hydraulických válců, čím je snížen vliv odstředivé síly na cestující. Do provozu se dostaly v roce 1988 s maximální rychlostí 250 km/h.



Obrázek 1.6: *První pendolino ETR 401[30]*

Od té doby bylo v Japonsku, Francii, Německu a Itálii budování vysokorychlostních tratí podstatě běžnou záležitostí. Budují se vysokorychlostní tratě v nedůležitějších přepravních směrech a také se zvyšují jejich technické parametry spolu s nejvyšší traťovou rychlostí. Vyvíjejí se nové elektrické vysokorychlostní jednotky s lepšími technickými parametry, vyšší kapacitou osob a maximální konstrukční rychlostí.



Ve Francii měla trať mezi Paříží a Lyonem velký komerční úspěch, Díky tomu vznikl plán postupného budování dalších vysokorychlostních tratí. Například trať směřující z Paříže k pobřeží Atlantického oceánu byla významným počinem. Pro tuto vysokorychlostní trať byly inovovány elektrické jednotky TGB Atlantique. Poprvé se zde při pravidelném provozu začalo jezdit rychlostí 300 km/h.

Na následující léta byly plánovány další úseky, zejména LGV Nord, který vedl z Paříže k městu Lille, kde bylo hlavní spojení s Brusel, a také s Londýnem pomocí podmořského tunelu. Tahle vysokorychlostní trať byla základem pro první evropský mezistátní vysokorychlostní systém Thalys. Ten propojil Paříž přes Brusel až s německým Kolínem nad Rýnem a také Paříž s Amsterdamem.

Dálkové cestování bylo usnadněno a urychleno díky připojení nejvýznamnějšího francouzského letiště Paris Charles de Gaulle k vysokorychlostní trati mezi LGV Nord a LGV Sud-Est. Později bylo připojeno letiště Lyon-Satolas pomocí trati LGV Sud-Est, která byla prodloužena až na Azurové pobřeží do Marseille. Pro uspokojení velkých požadavků a poptávek na tratích s poměrně vysokou hustotou provozu, byly poprvé pro trať TGV Atlantique dodány jednotky v dvoupodlažním provedení TGV Duplex. [1]



Obrázek 1.7: TGV rychlostní rekord [31]

Další tratí byla vysokorychlostní trať LGV Est směřující z Paříže do Štrasburku na německých hranicích. Tato vysokorychlostní trať dostala i přívlastek evropská, jelikož bude také umožňovat výrazné zkrácení jízdního času mezi Paříží a Lucemburskem, Švýcarskem i Německem. Díky této trati bude možné vybudovat návazné a odbočující úseky včetně modernizaci současných tratí. Budování trati bylo rozděleno na dvě části. První část dlouhá 300

km mezi Aïre-sur-Marne u Paříže a Badreclout, druhá část je pokračování z Badreclout do Vendenheim u Štrasburku o délce 106 km. Práce na první část trati začala 28. 1. 2002, ukončena byly 20. 9. 2006 a do provozu byla uvedena 15. 3. 2007.

Nežli trať byla uvedena do provozu, sloužila k testování nových konstrukčních prvků infrastruktury i vysokorychlostních jednotek. Na závěr zkoušek byl vytvořen další světový rychlostní rekord. Díky vyššímu napětí v troleji a koly většího průměru dokázala vysokorychlostní jednotka překonat rychlost 574,8 km/h. Tento rekord prokázal vysokou účinnost principu železnice, která svými parametry je srovnatelná se systémem maglev.

Cesta z Paříže do Štrasburku po nové vysokorychlostní trati vlaky TGV byla zkrácena z původních 4 hodin na 2 hodiny a 20 minut. O dalších 30 minut byla zkrácena doba po dokončení druhé části vysokorychlostní trati. Nové přímé vlaky TGV zkrátily cestování časy na důležitá místa východní Francie a do významných center sousedních států u francouzských hranic.

V Německu další vývoj rychlostní železniční dopravy probíhal taktéž rychlým tempem. Zprvu se po sjednocení Německo soustředilo na modernizaci tratí ve východní části a na propojení přerušovaných tratí umělými hranicemi. Trať z Berlína do Hannoveru byla první vysokorychlostní tratí. Tato trať kombinovala novou vysokorychlostní trať s modernizovanou původní tratí a spuštěna byla 27. 9. 1998. Německo u své nové trati vsadilo na nové technické řešení, a na rozdíl od ostatních tratí, byla tato trať postavena pouze pro osobní dopravu se speciálními vysokorychlostními jednotkami. Trať byla vybudována podél dálnice a prochází četnými tunely. Na trati se vysokorychlostní vlaky mohou pohybovat rychlostí 300 km/h a její sklon dosahuje až 40 promile. Toto řešení výrazně snížilo stavební náklady, ovšem cenou za to, jsou vysoké požadavky na výkon a jízdní dynamiku vlakových souprav. Bylo dosaženo zkrácení cestovní doby u německých přepravních směrů, stejně tak u významného evropského směru mezi Amsterdamem a Basilej. Byl umožněn přímý přestup mezi vysokorychlostní železniční dopravou a leteckou na letištích v Kolíně nad Rýnem, Frankfurtu a městě Bonn.

Intenzivní finanční podpora, hojné zkušenosti a zvládnuté technické problémy napomohly k vybudování další trati Norimberk - Ingolstadt, která byla spuštěna ke dni 28. 5. 2006. Mezi roky 2010 a 2013 došlo k vylepšení střední sekce trati. Rychlostní limit je 300 km/h.

[1]

## 2.1 Výhody a nevýhody vysokorychlostní železnice

Jedním z nejdůležitějších faktů této dopravy je podstatné zkrácení doby cestování. Do vzdálenosti 600km je tato doprava dokonce schopna konkurovat letadlům. Dalším faktem je spolehlivost dopravy s nízkou nehodovostí, menší zastavěnost plochy oproti silniční dopravě, také skoro nulové emise. Za další výhodu lze považovat nezávislost na ropě a také pohodlí spolu s možností aktivně trávit čas. [5] Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady při úplné výstavbě vysokorychlostní trati, mnohdy jen úseky projdou patřičnou modernizací. Další nevýhodou je pořizovací náklad samotné soupravy pohybující se po železničním svršku a také vytvoření

bariérové linie v krajině. Velký hluk, který je však daleko přijatelnější než u výstavby dálnic, kde je hluk trvalý oproti železnici. Průměrná cena za výstavbu kilometru nové vysokorychlostní trati (rychlost 300 km/h) vychází obdobně jako stejný úsek dálnice, v případě modernizace stávající trati na vysokorychlostní trati (rychlost 200 km/h) jsou náklady o cca 40% nižší než u výstavby dálnice. [6]

## 3 Nejvýznamnější železniční systémy ve světě

### 3.1 Rychlovlaky TGV

Zkratka TGV vnikla z francouzského jazyku znamenající vysokorychlostní vlak (Train à Grande Vitesse). Tento typ vlaků je poháněn elektrickými motory pohybující se po kolejích normálního rozchodu. Pro tyto vlaky jsou budovány vysokorychlostní tratě bez úrovňového křížení a s velkým poloměrem oblouků dosahující 7000m. Vlaky, na této trati se sklonem až 35 promile, dosahují rychlosti 300 km/h.

Tato doprava byla udána do provozu 27. září roku 1981. Vlaky následně sloužily 27 let v provozu bez nějakých větších problémů. Během nich se objevilo mnoho nových technologií a došlo k modernizaci těch starých. Tím vznikla nová generace vozů AGV. [7]



Obrázek 1.8: Mapa vysokorychlostní vlaků TGV [32]

TGV jednotky mají vždy dvě hnací jednotky a osm vložených vozů s délkou dosahující 200m. Dva sousedící vložené vozy mají společný vždy jeden podvozek (výjimku tvoří čelní



vozy). Tato konstrukce je známá jako Jakobsonův podvozek. Díky tomu jsou vozy prostornější, snazší průchodnost, mají lepší aerodynamiku a je snížený počet náprav. Většinou dvě spojené soupravy tvoří jeden TGV rychlovlak. Tento typ vlaků je používán hlavně ve Francii, ale také ve Velké Británii, Belgii, Španělsku, Nizozemí a Jižní Koreji.

## 3.2 Významné typy TGV

### 3.2.1 TGV Paris-Sud-Est (TGV PSE)

K zahájení provozu došlo roku 1981. Firma Alstom vyrobila 110 souprav. Každá souprava měla kapacitu 345 sedadel. Rychlovlak dosahoval rychlosti nejdříve 260 km/h a po renovaci v roce 1994 rychlosti 300 km/h. Dříve sloužil hlavně k rychlému spojení mezi Paříží a Lyonem, dnes jezdí i do Švýcarska a Itálie. Jeho soupravy jsou dvou systémové (existují i tři systémové) využívá tedy tratě o napětí 25 kV 50 Hz či 1,5 kV DC. Jeho maximální výkon je 6450 kW.

### 3.2.2 TGV La Poste

Tento typicky žlutý rychlovlak, byl navržen pro rychlé převážení poštovních zásilek. V roce 1983 byl uveden do provozu firmou Alstom. Jeho maximální rychlost činila 270 km/h. Dne 27. 7. 2015 byl ukončen jeho provoz. Dosahoval délky 190 m a skládal se z 10 vozů. Poháněn byl 12 motory 1,5kV DC či 25 kV AC. Stejně jako TGV PSE při střídavém napětí dosahoval výkonu 6450 kW. Vyrobeno bylo pouze 7 souprav, každá s kapacitou 60 tun zásilek.



Obrázek 1.9: *TGV La Poste* [33]

### 3.2.3 TGV Atlantique (TGV-A)

Opět vyrobený firmou Alstom, na bázi dvou systémové soupravy, byl druhou generací rychlovlaků TGV. Vyrobito se celkem 105 souprav a jeho provoz začal v roce 1989. Souprava obsahovala deset vložených vozů o kapacitě 485 sedadel. Dne 18. 5. 1990 modifikovaná souprava, která měla klasické dvě hnací vozidla, ale pouze tři vložené vozy, stanovila světový rychlostní rekord pomocí rychlosti 515,3 km/h. Souprava měla délku 237,5 m a výkon 8800 kW.

### 3.2.4 TGV Réseau (TGV-R)

Základ této soupravy je převzat z dřívější soupravy TGV Atlantique, to znamená, že má dvou systémovou soupravu. Její provoz začal v roce 1993 a vyrobilo se 60 souprav s kapacitou každé soupravy 377 míst. Vlak dosahoval maximální rychlosti 320 km/h.

### 3.2.5 TGV Duplex

Jeho výroba trvala od roku 1995, kdy se poprvé objevil v provozu až do roku 2009. Na rozdíl od ostatních má tento rychlovlak dvoupodlažní vagóny, které byly navrženy speciálně pro zvýšení kapacity přeplněných vysokorychlostních tratí. Počet míst k sezení se maximalizoval na 545 sedadel v jedné vlakové soupravě. Dokázal se dostat na rychlost 320 km/h, ovšem byl provozován na tratích s maximální rychlostí 300 km/h. Mohl být napájen střídavým napětím 25 kV při 50 Hz nebo stejnosměrným napětím 1,5 kV. Jeho 8 třífázových synchronních střídavých trakčních motorů dokázalo vyvinout 8800 kW při střídavém napětí. Celková délka vozu byla 200m. Ve dne 3. 4. 2007 byla tato jednotka zkrácena na pětivozovou a vytvořila světový rychlostí rekord 574,8 km/h. [8]



Obrázek 1.10: TGV Duplex [34]

### 3.2.6 TGV Paris-Ostfrankreich-Süddeutschland ( TGV POS)

Zařazeny byly do provozu roku 2007 na zajištění dopravy po vysokorychlostní trati LGV Est (Lignes à grande vitesse ). Jeho maximální rychlost je 320 km/h, na kterou se dostane pomocí hnacích vozidel o výkonu 9,6 MW. Souprava mimo hnací vozidla obsahuje i osm vložených vozů, které jsou původní ze soupravy TGV Réseau. Souprava, stejně jako TGV Eurostar, je osazena asynchronními motory, které je v případě poruchy možné odpojit. Díky bipolárním tranzistorům dokáže souprava dosáhnout 75% výkonu při napájení 15 kV s frekvencí 16,7Hz na německé napájecí síti.

## 3.3 AGV

Výhody moderní vysokorychlostní železniční dopravy se dostávaly více do podvědomí a to nejen u evropských ekonomických velmocí. Jmenovitě je to komfort cestujících, možnost rychlého transferu, nízká spotřeba energie a také ekonomicky výhodné pro dopravce i cestující. Do budoucna by právě tyto výhody měly posunout železniční dopravu a na vzdálenostech do 1 000km nahradit leteckou dopravu.

Označení vysokorychlostního vlaku je AGV (Automotrice á Grande Vitesse), což znamená vysokorychlostní vlak s poháněnými vozy. Jedná se o nástupce vlaků TGV, a jako všechny ostatní TGV vozy, i tento vyrábí společnost ALSTOM. Vlaky AGV jsou 4. Generací rychlostní vlaků této firmy. Při první pohledu můžeme spatřit velkou odlišnost od jejich předchůdců. Jako první v Evropě byl schválen pro komerční provoz v Itálii rychlostí 360 km/h. Vlaky provozuje Italská firma Nuovo Trasporto Viaggiatori, prozatím "jen" do rychlosti 300 km/h. [9]

### 3.3.1 Vývoj vlaků

Roku 1998 vznikly první studie k vlakům AGV. Dva roky později v Barceloně byl představen veřejnosti vlak, tehdy ještě pod obchodním názvem TGV 400. Španělský národní dopravce RENFE vypsál výběrové řízení na vysokorychlostní vlaky, účastnil se ho právě výrobce vlaku ALSTON. Původně měl být vlak zkonstruován pro maximální rychlost 350 km/h, také měl být osazen Jakobsonovým podvozkem a vířivými brzdami. Délka celé soupravy měla dosahovat 180 metrů a pojmout 359 cestujících.

Testování prototypu začalo koncem roku 2001. Pro testování byly vytvořeny 2 vozy, hnací a řídicí vůz a z vysokorychlostní jednotky TGV Reaseau byly použity ostatní vozy. Měřila se míra hluku, ovládání jednotky či proudový sběrač, který byl navržen pro všechny 4 napájecí soustavy používané v Evropě (střídavé napětí 25 kV o frekvenci 15 Hz a 15 kV o frekvenci 16,7 Hz nebo stejnosměrné napětí 3 kV a 1 kV). V neposlední řadě byla testována dynamika, jako je měření trakce motoru či brzdící reostat.

V současné podobě jezdí již od začátku výroby v roce 2009. Ovšem vývoj započal již v roce 2004. O rok později v listopadu byla vystavena maketa na výstavě Eurailspeed v Miláně. Na veřejnost v La Rochelle dne 5. 2. 2007, se dostal sedmi vozový prototyp za přítomnosti tehdejšího francouzského prezidenta Nicolase Sakózyho. Při návrhu se bral důraz na splnění normy TSI a také na efektivitu spotřeby energie. Design byl prací dvou železničních dopravců a to italského dopravce NTV a francouzského národního dopravce SNCF.



Obrázek 1.11: AGV [35]

Testování prototypu probíhalo také na českém území a to konkrétně na okruhu ve Velimi. Byl zde testován hluk, napětí v různých komponentech, účinnost a zahřívání brzd, chování vlaku v obloucích, dynamika a také proudění vzduchu.

Ještě než mohly pokračovat další testy, byl AGV vystaven na železniční výstavě INNOTRANS, konající se každý sudý rok v Berlíně. Poté se vysokorychlostní jednotka testovala na francouzských vysokorychlostních tratích, kde odjela celkem 7500 km a dosáhla poprvé rychlosti 360 km/h. Následně se jednotka opět vrátila do České Republiky na okruh ve Velimi. AGV byla udělena homologace pro italské železnice. Další testování proběhlo pouze v Itálii.

### 3.3.2 Technické parametry Pégase

Firma ALSTOM se při výběru motoru do jednotky AGV rozhodla použít synchronní motory s permanentními magnety, nežli použití asynchronních motorů, kterými byly osazeny předchozí generace TGV. Výsledkem byl lepší výkon a to 1kW/kg vůči výkonu asynchronních motorů 0,7 kW/kg. Tento synchronní motor tedy dokáže vyvinout až 1000 kW ale konstrukčně je navržen na 720 až 760 kW. Hodnota maximálních otáček motoru je 9000 ot/min. Hmotnost



motoru pak dosahuje 730 kg. Tyto motory jsou umístěny po celé délce vlaku a jsou montovány do každého Jakobsonova podvozku v soupravě. Toto řešení zvýšilo počet míst k sezení. Pro regulaci výkonu se používají měniče Onix s výkonem 6,5 kV. Zajímavostí je umístění podvozků mezi jednotlivé články a také v obou řídicích vozech. Výrobci vysokorychlostních vlaků toto řešení příliš nepoužívají, dokonce samotná firma ALSTOM toto řešení nepoužila ani u předchozích generací TGV. [10]

Souprava může být sestavena ze 7,8,11 nebo 14 vozů, díky čemuž celková kapacita cestujících může dosáhnout až 650. Délka 11 vozové jednotky je 200 metrů, s celkovým počtem podvozků 12 a také je zde 12 motorů. Starší generace TGV mají bez ohledu na počtu vložených článků vždy pouze 2 motory umístěné v řídicích vozech. Celkový výkon AGV je závislý na počtu hnacích jednotek, pohybuje se tedy mezi 6-12 MW s maximální rychlostí 360 km/h. AGV disponuje aktivním zavěšením, díky němuž se co nejvíce zamezuje vibracím procházející od podvozku k vozu. Oba krajní podvozky jsou osazeny elektronickým brzdovým systémem, jejich základem jsou brzdy s vířivými proudy. Tento systém je schopný rekuperace, kdy při brždění se obnovuje elektrická energie.

Vyrobeno bylo zatím 26 kusů z toho je 25 v pravidelném provozu u soukromého italského dopravce Nuovo Trasporto Viaggiatori, který si je u firmy ALSTOM objednal v 11 vozové konfiguraci. Celková částka za tyto jednotky byla 650 milionu eur. K zahájení provozu mělo dojít v polovině roku 2011, nestalo se tak, a tak Italští cestující museli počkat až do 28. 4. 2012. Při slavnostním odhalení vlaku NTV dne 13. 12. 2011 se rozhodlo o používání zjednodušeného názvu Italo. Celkový počet 450 míst k sezení poskytuje jednotka s označením ETR 575.

### 3.4 Šinkansen

Je název pro vysokorychlostní síť železnic na ostrovním státě Japonsko. Trať využívá 5 japonských železničních dopravců. Doslovným překladem je "nová kmenová linka". Tato vysokorychlostní síť propojuje většinu významných japonských velkoměst na ostrovech Kjúšú, Honšú a město Hakodate na severním ostrovu Hokkaidó. Od března roku 2016 se buduje pokračování trati až k městu Sapporo, jeho otevření je naplánováno na březen roku 2031.

Ve vysokorychlostní železniční dopravě má své prvenství právě Japonsko. Došlo k tomu díky nedostatečné kapacitě při stoupající poptávce na úzkorozchodné trati. Jméno Šinkansen bylo poprvé formálně použito v roce 1940, kdy japonští inženýři nejdříve přišli s nápadem úplné přestavby tratí na normální rozchod kolejí, kde by jezdila parní a elektrická lokomotiva s maximální rychlostí 200 km/h. Po dalších 3 letech přišlo ministerstvo dopravy s více ambiciózním nápadem, prodloužit trať až do Bejingu, či dokonce do Singapuru a propojit trať s transsibiřskou magistrálou. Kvůli 2. světové válce nebyly tyto plány uskutečněny.



Obrázek 1.12: Šinkansen [36]

V 50. letech byla trať Tōkaidō plně obsazená a tak ministerstvo dopravy rozhodlo znovu otevřít projekt Šinkansen. Díky prezidentovi Japonské národní železnice Shinji Sogō, který silně prosazoval vysokorychlostní tratě, byl odstartován projekt Šinkansen. První část trati začali budovat v dubnu 1959 mezi dvěma největšíma japonskýma velkoměsty Ósako a Tokio. Dne 1. 10. 1964 byla tato trať otevřena pod názvem Tōkaidō-šinkansen a trvala 4 hodiny na rozdíl od konvenční dopravy, které to zabralo 6 hodin a 40 minut. Tento čas byl vylepšen na tři hodiny a deset minut v roce 1965. Vlaky na této trati dosahovaly rychlosti 210 km/h. Trať při prvních třech letech od zahájení provozu přepravila 100 milionů cestujících a v roce 1976 1 miliardu cestujících. [11]

Trať se dočkala téměř okamžitě pokračování dále na západ do města Okyama, Hiroshima a Fukuoka na ostrově Kjúšú. Stavební práce byly dokončeny v roce 1975 pod názvem Sanjō-šinkansen. Na sever se rozrostly dvě tratě směrem z Tokia do Niigaty a Morioky, které v roce 1982 byly úspěšně dokončené. Trať se přestavovala z dvou již existujících tratí a tak v roce 1992 vznikla trať Jamagata-šinkansen a v roce 1997 trať Akita-šinkansen. Obě dostaly jméno podle jejich konečných stanic. Postavena byla odbočka trati Džóecu z Takasaki do Nagana při příležitosti zimních olympijských her v Naganu. V červnu 2012 bylo schváleno rozšíření stavby tratě z Kanazawa do Tsuruga. Trať Hokuriku Šinkansen byla prodloužena z Nagana do Kanazawy a otevřena v březnu roku 2015.

### 3.4.1 Tratě

U systému Šinkansen je použit normální rozchod kolejí, což je 1435 mm na rozdíl od starších tratí používající 1067 mm. Koleje jsou kompletně odděleny od těch konvenčních. Díky tomu není Šinkansen brzděn ostatními lokálními pomalými vlaky nebo nákladními vlaky, až na výjimku v tunelu Seikan. Tratě jsou postaveny bez úrovnového křížení. K překonání překážek byly využity raději tunely a viadukty nežli objíždění, protože minimální poloměr zatáčky je 4000 m. Používají se kontinuálně svařené kolejnice a přechody, které odstraňují mezery na kříženích a výhybkách.

Napájen je střídavým napětím 25 kV při 60 Hz na západ od Tokia, na východ od Tokia je síť 20 kV s kmitočtem 50 Hz.



Obrázek 1.13: Síť Šinkansen [37]

### 3.5 Osobní zkušenost s dopravou v Japonsku a samotnou VRT

V roce 2017 jsem podnikl s přítelkyní poznávací cestu do Japonska. V této zemi jsme měli možnost být dva týdny, primárně nám šlo o poznání jejich kultury, kterou nám přibližovala naše rodinná známá žijící v Ósace, nicméně byla možnost využít situace a rozšířit obzory i v dopravě. Nejprve musím říct, že jsem žasl, jak jsou lidé v Japonsku disciplinovaní, nejen v přepravování osob ale i ve vzájemné toleranci. Chvillemi jsem si i myslel, že jsou lidé naprogramovaní. Jejich tolerance a pokora k druhým byla opravdu silná. Přispívá k tomu fakt, že v Tokiu žije více než 40 milionů lidí. Pokud by lidé a doprava organizováni nebyly, nikdo by se nikam nedostal, vládl by chaos. To si největší světové velkoměsto nemůže dovolit. Z pohledu laika na dopravní systém musím konstatovat, že Česká republika se má co učit ale také má kde brát inspiraci. Ve stanicích se křížilo několik druhů doprav a co víc, všechny měly návaznost, doslova na vteřiny. Celková přehlednost, čistota a značení ve stanicích vede k maximální

efektivnosti. Zmíním osobní zkušenost ze stanice Shin-Osaka, na které staví i linka Shinkansen. Na tomto dopravním uzlu lze využít JR West, Subways, Nankai Railway, Hankyu Railway, Hanshin Railway, Keihan Railway.



Obrázek 1.14: Stanice Shin Osaka

Ze stanice Shin-Osaka jsme využili přepravy Shinkansenem do Tokia. Cena jízdenky byla cca 3500kč za osobu. Při příjezdu jednotky do stanice jsem nebyl nikterak ohromen snad jen dokonalou aerodynamikou. Spíše mě fascinoval jejich počet ve stanici. Když uvážím fakt, že v České republice jsou nejbližší podobné jednotky Pendolino s naklápěcím systémem, kterých je u nás pouze pár. Při nástupu do vlaku mi interiér spíše připomínal malé letadlo. Na trati jsme dosahovali rychlosti 270 km/h, která nebyla vůbec znát a cestu dlouhou 550km z Osaky do Tokia jsme zvládli téměř za 3 h. Pro srovnání s automobilem, by tato cesta trvala přibližně 6h. Konkrétně Japonsko je země, kde VRT tvoří nedílnou součást dopravy už několik desítek let a zkušenosti jdou vidět.





Obrázek 1.15: Stanice Shin Osaka



Obrázek 1.16: Šinkansen

## 3.6 ICE

Intercity-Express je systém vysokorychlostních vlaků především jezdící v Německu a v okolních státech. V dnešní době existuje 259 vlakových souprav v 5 různých verzích ICE. První ICE1 byla uvedena do provozu v roce 1991, druhá verze ICE2 v roce 1996, třetí verze ICE T roku 1999, čtvrtá verze pojmenovaná ICE 3 přišla taky v roce 1999 a poslední verze ICE TD působila od roku 2001 do 2003 a byla znova nasazena v roce 2007. V roce 2008 začali vymýšlet další verzi vlaku ICE4, na představení se čeká již od roku 2016.

Vlaky mimo využití v Německu můžou být viděny také v sousedních státech Německa. Například existují tratě ICE 1 do Curychu a Basileje. Vlaky jezdící po trati ICE 3 jezdily do měst Liege a Brusel, nižší rychlostí pak i do Amsterdamu. Mezi Paříží a Frankfurtem/Stuttgartem byla v červnu roku 2007 otevřena nová linka. Na této trase se pohybují společně vlaky ICE a TGV. Společnost DB získala osvědčení pro provoz vlaků v Eurotunelu v červnu roku 2013.



Obrázek 1.17: ICE [38]

Také španělský železniční dopravce RENFE používá vlakové jednotky ICE 3, pojmenované AVE 103, které se používají maximální rychlostí 350 km/h. Širší verzi této jednotky si objednala Čína pro trať mezi Pekingem a Tianjin, také Rusko na trasu Moskva - Petrohrad a Moskva - Nižnij Novgorod.

### 3.6.1 Historie

Německé dráhy (DB) se v roce 1985 snažili o celou řadu pokusů s použitím testovacího vlaku pojmenovaného InterCityExperimental či zkratkou ICE-V. Ten sloužil jako ukázkový vlak a rovněž pro vysokorychlostní zkoušky, kdy pokořil světový rychlostní rekord dne 1. 5. 1988 a to rychlostí 406,9 km/h. V roce 1996 ICE-V vyřadily a nahradily tento vlak novou zkušební jednotkou, která byla pojmenována ICE-S. V roce 1988 Německé dráhy s ministerstvem dopravy

uzavřely objednávku pro prvních 41 jednotek. O dva roky později byla tato objednávka navýšena na 60 jednotek. Ale bohužel některé jednotky nebyly doručeny včas. Slavnostního otevření sítě ICE se dočkali Němečtí občané dne 29. 5. 1991.

### 3.6.2 První generace

Vlaková souprava nazvaná ICE 1 byla první generací ICE vlaků. Přišla v roce 1989. První plánovaná trasa toto vlaku začala být v provozu ode dne 2. 6. 1991 z města Hamburg-Altona do Mnichova, jezdící po hodinových intervalech na nové trati ICE line 6. V ten stejný rok se otevřela trať Hanover - Würzburg a Mannheim - Stuttgart, které byly rovněž součástí ICE sítě od začátku. Nedostatek vlakových souprav v roce 1991 a začátkem roku 1992, způsobily pozdější používání trati ICE line 4, která vedla z města Brémy do Mnichova. Vlaky ICE se začaly prohánět po této trati až ode dne 1. 6. 1992. O rok později byl konec trati ICE line 6 přesunut z Hamburku do Berlína. ICE 1 byl napájen střídavým napětím 15 kV. Jednotka byla složena z 2 hnacích vozů a 14 vložených vozů s celkovou délkou 358 m a kapacitou 685 pasažérů. Dosahovala maximální rychlosti 250 km/h a náklady jedné soupravy byly 25 miliónů Euro. [12]

### 3.6.3 Druhá generace

Provoz druhé generace je datován k roku 1997. Jedním z cílů ICE 2 bylo zlepšit vyvažování zátěže za pomoci menších vlakových jednotek (poloviční oproti ICE 1), které by mohly být odpojeny či připojeny podle potřeby. Jednotka měla 6 vložených vozů o kapacitě 391 cestujících a cena za jednu takovou jednotku bylo 18 milionů Euro. Vlak ICE 2 používaly na trati ICE line 10 z Berlína do Cologne/Bonn. Také byla otevřena třetí vysokorychlostní trať v Německu mezi Berlínem a Hanoverem, která zkrátila cestování na ICE line 10 mezi Ruhr vally a Berlínem s cestovním časem 2,5 hodiny. Mimo využití vlaku v domácím Německu se používali tyto vlaky i ve Švýcarsku a Rakousku. Tak jako první generace byla i tato generace napájena střídavým napětím 15 kV. ICE 2 se dokázal dostat na maximální rychlost 280 km/h.

### 3.6.4 Třetí generace

Nástupce ICE 3 byl na rozdíl od ICE 1 a ICE 2 postaven na menším rozchodu kolejí pro využití po celé Evropě skrze Evropský standardní rozchod kolejí. Taky na rozdíl od předchůdců je ICE 3 postavena jako elektrická jednotka s motory umístěné v podlaze. Díky tomu se snížilo zatížení na jednotlivé nápravy a splňovalo normu UIC. Byly vytvořeny dvě třídy a to Class 403 (označovaná ICE 3) pro domácí využití a Class 406 (označované ICE 3M) pro účely využití v zahraničí. Cena za jednu vysokorychlostní vlakovou jednotku byla 27 milionů Euro. Vlaky ICE 3 byly jediné schopné jet po trati mezi Kolínem a Frankfurtem se sklonem 4 promile. S jednotkami ICE 3M se můžeme setkat například v Rusku na trati z Moskvy do Petrohradu, ve Španělsku nebo Číně.





Obrázek 1.18: ICE 3 [39]

V květnu roku 2006 byla otevřena nová vysokorychlostní trať Nuremberg - Ingolstadt. Jako jedna ze dvou tratí v Německu podporuje rychlost 300 km/h, kterou disponují vlaky až od třetí generace ICE 3. Dnes je tato vysokorychlostní trať provozována mezi Essen - Mnichov. Na trati LGV Est mezi Štrasburkem a Paříží jezdí ICE 3 rychlostí 320 km/h, což byla její maximální rychlost a dokázala pojmout až 441 cestujících. Poslední generace (Class 407) je známá jako nová ICE 3. Tato vysokorychlostní jednotka měla být použita pro kanálový tunel do Londýna, ovšem kvůli zpožděnému doručení to bylo zrušeno.

### 3.6.5 Čtvrtá generace

Výroba čtvrté generace začala v roce 2008. Tato jednotka měla nahradit jednotky InterCity A EuroCity které používaly jako hnací vůz lokomotivu. Nejdříve pojmenované ICx ovšem v roce 2015 přejmenovány na ICE 4. Byly vyráběny dvě varianty, sedmi vozové s délkou 200m a kapacitou 456 cestujících nebo dvanácti vozové s celkovou délkou 346 metrů a kapacitou 830 pasažérů. Maximální rychlost je pouze 250 km/h u delší jednotky a 230 km/h u kratší jednotky. Jsou to první jednotky s přepravou jízdních kol a byly konstruované pro větší pohodlí cestujících a lepší ekonomiku provozu.





Obrázek 1.19: ICE síť [40]

### 3.6.6 Ostatní typy

Zároveň s typem ICE 3 vyvíjel Siemens další vlak, který byl nazvaný ICE T a využíval technologie z ICE 3, ale rozdílem byl naklápací podvozek. Vyráběny byly dvě řady a to Class 411, která se skládala ze 7 vozů o celkové délce 185 m, dokázal pojmout 382 pasažérů a maximální rychlost měla 230 km/h. Druhá byla Class 415 obsahující 5 vozů s délkou 134 m, kapacitou 250 pasažérů a maximální rychlostí 230 km/h. Souprava ICE T byla navržena pro klikaté tratě jako například v Durynsku, v dnešní době lze tuto soupravu nalézt na trati z Frankfurtu do Vídně.

V roce 2001 bylo vyrobeno 20 naklápacích dieselových jednotek řady Class 605 s označením ICE TD, pro neelektrifikované tratě jako například Norimberk-Drážďany a Hamburk - Kodaň. Tyto jednotky byly ovšem staženy z provozu kvůli vyšší poruchovosti a nákladům na naftu.

## 3.7 Maglev

Po vysokorychlostních vlaků TGV, šinkansen či německého ICE, kteří udělaly revoluci na konci 20. století, přišla další revoluce. Na rozdíl od ostatních konvenčních vysokorychlostních vlaků, využívající klasické železniční kola a koleje, se pohybuje Maglev pomocí magnetické

levitace, z čehož vznikl i jeho samotný název. Výstavba tratí pro Maglev je zatím velmi drahá, ovšem v budoucnu by se tento důležitý aspekt měl eliminovat. [13]



Obrázek 1.20: *Šanghai Transrapid* [41]

### 3.7.1 Historie

Důležitou roli hrálo patentování lineárního motoru pro pohánění vlaků, ten si nechal patentovat Alfred Zehden na začátku 20. století. Další vynálezce, jenž si nechal patentovat elektromagnetický transportní systém, byl F. S. Smith. Následně byla udělena řada německých patentů, pro magnetické levitační vlaky poháněné lineárním motorem, Hermannovi Kemperovi v letech 1937 a 1941. V roce 1959 G. R. Polgreen nechal patentovat transportní magnetický systém, kterým popsal systém Maglev. První použití Maglevu bylo v amerických patentech pojmenováno Magnetický levitační řídicí systém od "Kanadské patenty a omezený vývoj". Při dopravní zácpě roku 1968, na Throgs Neck mostě Jamesa Powella, výzkumníka z Brookhaven National Laboratory, napadlo použití magnetického levitačního transportu. Jeho kolega Gordon Danby zrovna pracoval na konceptu Maglev, používající statické magnety namontované v pohybujícím se vozidle, indukující elektrodynamickou zdvihovou a stabilizační sílu ve speciálně tvarované smyčce.

První Maglev vlak, licencovaný na přepravu pasažérů byl pojmenován Transrapid 05. V Hamburku v roce 1979 otevřeli trať dlouhou 908 m pro první mezinárodní dopravní výstavu. Zájem byl tak obrovský (50 000 pasažérů), že byla výstava prodloužena o tři měsíce po plánovaném ukončení. V roce 1980 byl vlak znova sestaven v Kassel. Prvního komerčního využití se dočkal Maglev až v Birminghamu ve Spojeném království na trati mezi letištním terminálem na Birminghamském mezinárodním letišti a blízkou Birminghamskou mezinárodní železniční

stanici. Trať byla v provozu od roku 1984 do 1995 s celkovou délkou 600 m a vlak levitoval ve výšce 15 mm. Velmi oblíbeným se stal u pasažérů, ale stárnutí elektrického systému způsobovalo jeho nespolehlivost a později i uzavření.

Německá společnost Transrapid vybudovala v městě Emsland zkušební dráhu o délce 31,5 km. Jedno kolejní trať vedla mezi Dörpen a Lathen s otočnou smyčkou na každém konci. Vlaky jezdily běžně rychlostí 420 km/h. Součástí testovacího procesu byli i běžně platící cestující. V roce 1980 začala stavba zkušebního zařízení a dokončena byla o 4 roky později. V roce 2006 došlo k vlakové nehodě, při které zemřelo 23 lidí, chyba byla způsobena člověkem, jenž implementoval bezpečnostní prvky. Od toho roku nebyli převáženi žádní cestující. Platnost licence vypršela na konci roku 2011, nebyla obnovena a začátkem roku 2012 se konala demolice trati, továrny i zařízení.

Japonsko používá dva typy Maglev vlaků. Jedním je HSST od japonských leteckých společností a druhý, více známý, je SCMaglev od Centrální Japonské železniční společnosti. Vývoj se datuje k roku 1969, kdy vznikla testovací dráha Miyazaki, na které se dosáhlo rychlosti 517 km/h v roce 1979. Vlak byl ovšem zničen při nehodě a tak byl zvolen nový design. Na Okazaki výstavě proběhla testovací jízda vlaku SCMaglev v roce 1987. V 80. letech probíhaly zkoušky v Miyazaki a v roce 1997 byla postavena nová 20 km testovací trať v Yamanashi. Vlaky HSST začaly svůj vývoj v roce 1974. Populárními se staly, i přes rychlost 30 km/h na, Světové výstavě v městu Tskuba. V japonském městě Saitama roku 1988 byl na výstavě představen nový typ HSST-04-01. Nejrychlejší zaznamenaná rychlost byla 300 km/h. Nová vysokorychlostní Maglev trať Chuo Shinkansen je plánovaná na rok 2027.



Obrázek 1.21: *Maglev v Japonsku [42]*

Japonský typ HSST byl vystavován v roce 1986 v kanadském Vancouveru.

V Koreji roku 1993 byl na výstavišti Taejŏn Expo '93 vystaven Maglev vlak, který tentýž rok Korea vyvinula. Tento vlak byl dále vyvíjen, v roce 2006 byl dokončen do plnohodnotného Maglev vlaku, který dokázal cestovat rychlostí 110 km/h. Dne 3. 2. 2016 byla otevřena trať pojmenovaná Incheon Airport Maglev v Jižní Koreji, trať směřující od nádraží Yongyu na stejnojmenné letiště, po kterém cestoval vlak Maglev. Korea se tímto stala 4. světovou zemí provozující vlastní vlaky na bázi Maglev. Na vývoji se podílel Korejský strojní institut a Hyundai Rotem. Trať je dlouhá pouhých 6,1 km se 6 stanicemi. [14]

### 3.7.2 Princip

Pod pojmem Maglev si většina lidí představí levitující jedno kolejní trať. Ve skutečnosti může být Maglev jedno kolejní, ale také dvou kolejní. Některé používají k pohonu pouze elektromagnetismus bez levitace vozidla.

#### **Ve světě se používají dvě technologie vlaků Maglev:**

**Elektromagnetické zavěšení (EMS)** - Vlak levituje nad železnou kolejnicí pomocí vzájemného působení magnetů a kolejnice, zatímco elektromagnety zabudované ve vlaku drží správnou orientaci vlaku. Magnetická přitažlivost se nepřímým mění s krychlovou vzdáleností, to znamená, že i nepatrné změny vzdálenosti vyvolávají velké síly, které jsou dynamicky nestabilní a potřebují sofistikované zpětnovazební systémy udržující konstantní vzdálenost od dráhy. Na rozdíl od elektrodynamických systémů dokáže EMS pracovat při všech rychlostech, což je jeho hlavní výhodou. Díky tomu není potřeba odděleného systému zavěšení pro nízkou rychlost a to zjednodušuje uspořádání dráhy.

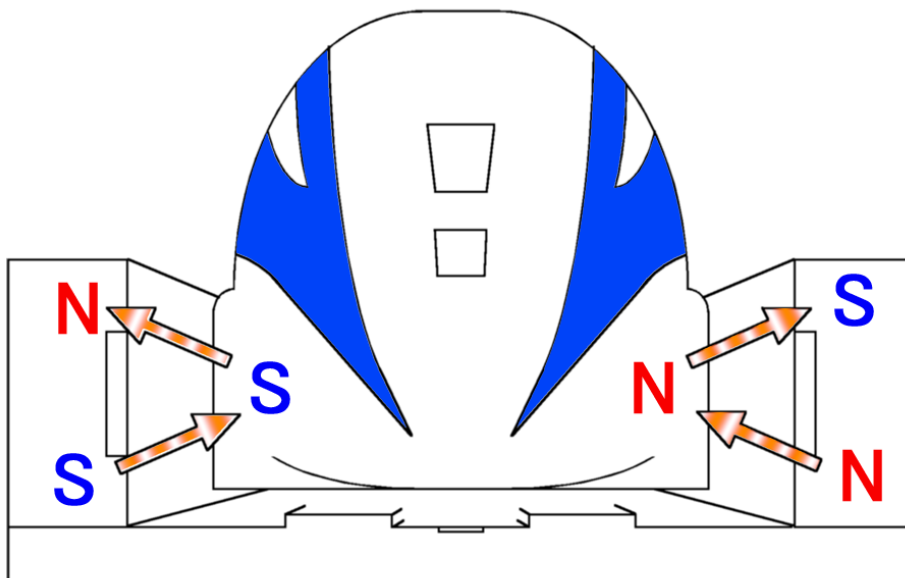
Na druhou stranu dynamická nestabilita potřebuje jemné tolerance dráhy. Pro splnění potřebné tolerance, by mezera mezi magnety a kolejnicí byla tak velká, že by pravděpodobně byly magnety nepřiměřeně velké. Problém byl vyřešen zlepšením zpětnovazebních systémů podporující potřebné tolerance.

Příkladem této technologie je například německý Transrapid.

**Elektrodynamické zavěšení (EDS)** - Vodičí dráha a magnety ve vlaku vytváří magnetické pole, tyto pole vytváří přitažlivé a odpudivé síly, díky kterým vlak levituje. Při prvních testech Maglevu na trati Miyazaki, byl použit pouze odpudivý systém, později byl nahrazen kombinací přitažlivým s odpudivým systémem. Magnetické pole může vytvářet buď supravodivé magnety (JR-Maglev) nebo řada permanentních magnetů (Indutrack). Magnetické pole vyvolávající přitažlivou a odpudivou sílu je vytvářeno ve vodičích nebo jiných kondukčních částech v dráze.

Hlavní výhodou toho systému je jeho dynamická stabilita, ta je vytvořena změnami vzdálenosti mezi tratí a magnety vytvářející silné síly vracející systém do své původní polohy. Není zde potřeba aktivní zpětná vazba. Další výhodou je vytváření magnetického pole v trati vpředu a vzadu zvedacích magnetů, působící proti magnetům a vytvářející magnetický odpor. Ovšem velkou nevýhodou je nedostatečně velký magnetický tok indukovaný v cívkách pro levitování vlaku při nízkých rychlostech. Proto musí mít vlak kola nebo jinou formu podvozku

pro tyto nízké rychlosti. Také vytvářené silné magnetické pole s velikostí téměř 5 tesla (100 000x silnější než magnetické pole země), které produkují cívky, jimiž prochází proudy okolo 700 kA, mohou způsobovat problémy lidem s kardiostimulátory, v pevných discích u notebooku, či s platebními kartami. Řešením je komplikované odstínění soupravy. Další problém nastává s životností supravodivých magnetů, které jsou chlazené tekutým héliem. [15]



Obrázek 1.22: *EDS systém [43]*

Maglev 21. 4. 2015 vytvořil rychlostní světový rekord rychlostí 603 km/h. Jediná komerční vysokorychlostní trať typu Maglev na světě je v provozu od roku 2002 v Číně známá pod názvem Transrapid. Trať dlouhá 30 km začíná na letišti v Pudong a končí v centru Šanghaje. Celková vzdálenost je 30 km a vlak jí ujede za 7 minut s průměrnou rychlostí 266 km/h. Vlaky jezdí s přesností na sekundy a spolehlivost je 99,97%. Do budoucna je plánováno prodloužení trati do Jižní Šanghajské Železniční Stanice a také na letiště Hongqiao na západní kraj Šanghaje.



## 4 Vlaky vyšších rychlostí v České republice

### 4.1 Pendolino

Stalo se prvním vysokorychlostním vlakem v České republice. Za dob, kdy v České republice ještě působily poslední lokomotivy, už Francouzi jezdili po železničních tratích rychlostí 300 km/h. Modernizace železnice nastává v roce 1989. V úvahu jsou vysokorychlostní jednotky využívající nově postavené "železniční koridory". O tři roky později přichází první vlaky typu Eurocity. O další tři roky, tedy v roce 1995, vyhláší České Dráhy výběrové řízení na vysokorychlostní soupravy s naklápěcím systémem. Vzhledem k častým obloukům na našich tratích byla vlastnost naklápění soupravy rozhodující, jelikož bez této vlastnosti by musely vlaky zpomalit do zatáček. Vítězem řízení byly dohromady společnosti ČKD, MSV Studénka, Fiat Ferroviaria a Siemens. V roce 2000 měli dodat 10 souprav, ovšem společnost ČKD v roce 1998 posunula termín dodání a byla i zvýšena cena. V roce 2000 společnost ČKD zkrachovala, a tak po dlouhých jednáních zakázku převzala italská firma Fiat Ferroviaria. Tato italská společnost oproti původnímu návrhu použila jako návrh svojí jednotku ETR 470, kterou upravila a vylepšila.

V roce 2003 byla dodána první jednotka, testována byla na zkušebním okruhu v Cerhenicích. O rok později byla nasazena na trať Praha-Děčín do testovacího provozu. Jezdit na pravidelném spoji mezi Ostravou a Prahou začala od 11. prosince roku 2005 a také začala působit na trati Praha - Brno-Vídeň/Bratislava. První trasa mezi hlavním městem Praha a velkým městem Ostrava vypadala slibně, ovšem to stejné se nedalo říct o druhé trase postrádající pasažéry a zájem zahraničních železničních správ. To se podepsalo na úbytku vlakových souprav, takže do Vídně a Bratislavy od roku 2010 jezdil již jen jeden vlakový pár.



Obrázek 1.23: *Pendolino* [44]

Úplné zrušení této trasy nastalo roku 2012, následovalo zvýšení počtu souprav na trati mezi Prahou a Ostravou. Došlo taky nově k prodloužení tohoto spoje až do slovenské Žiliny a

vzniklo spojení z Ostravy, skrz Prahu a Plzeň až do Františkových Lázní. Ve spolupráci se Slovenskou železniční společností došlo k zavedení jednoho páru na nové trase z Prahy do Košic v prosinci 2014. Toto spojení mělo přinést českým cestujícím rychlé a pohodlné spojení do Tater, či na východ Slovenska. Bohužel kvůli nedostatku souprav vlivem nehody v červenci 2015 ve Studénce došlo k pozastavení působení Pendolina na téhle trase. K navrácení došlo 1. 9. 2016 pod názvem Pendolino Košičan.

Pendolino se nevyhnulo problémům, již v roce 2005 nastal problém s řídicím systémem a s ovládáním jednotky, která byla zcela nepojízdná, či nefungovalo topení. Po krátkém vyřazení z provozu a odstranění závady bylo Pendolino navráceno zpět do provozu. Dalším problémem je ekonomika, protože provoz Pendolina je velice ztrátový a dokonce v roce 2009 dosáhl až na půl miliardy českých korun. Tato částka je tvořena zejména provozními náklady, generálními opravami (200 milionu korun), odpisy (250 milionu korun), ale také vysokým úvěrem (100 milionu korun ročně).

Myšlenkou provozu Pendolina bylo spojení velkých a hlavních měst (Hamburk, Berlín, Praha, Brno, Vídeň, Bratislava, Budapešť). Ovšem Pendolino je příliš zastaralé a pomalé pro německé a rakouské tratě, a tak nezískalo povolení k provozu na jejich území. Slováci nabídku rovněž odmítli a s Maďarskem se tudíž ani nezačalo jednat. Pendolinu nezbylo nic jiného, než provoz na území České republiky na trase Praha-Olomouc-Ostrava-Bohumín. S příchodem konkurence byly ČD nuceny zlepšit své služby, v červnu 2017 začala modernizace interiéru vozů Pendolino. To dostalo nová sedadla, podlahu, zavazadlové police, obložení stěn i WC. Nově přibyli digitální obrazovky s cestovními informacemi. Stejně jako rychlovlaky Railjet vzniklo v Pendolinu malé dětské kino. ČD zaplatí za rekonstrukci všech sedmi Pendolin 250 milionů korun s plánovaným dokončením v srpnu roku 2018. [16]



Obrázek 1.24: Trasa Pendolina [45]

#### 4.1.1 Technické parametry

Pendolino lze provozovat na třech napájecích soustavách, stejnosměrné napětí 3 kV, střídavé napětí 25 kV při 50 Hz či 15 kV při 16,667 Hz. Skládá se z celkově 2 trakčních vozů a 5 vložených vozů. Kapacita je 331 cestujících, z toho 105 usedne v první třídě a 226 do druhé třídy. Maximální rychlost je 230 km/h, ovšem v ČR pouze 160 km/h na kterou se dostane za 162 sekund. Maximální naklopení vozové skříně je 8° a v ČR pouze 6,5°. Pendolino má výkon 3920 kW s hmotností 358 t. Jsou použity asynchronní motory s tyristorově pulsní regulací výkonu. [17]

#### 4.1.2 Vozová skřín

Výrobce vozových skříní je firma Alcan. Hlavním materiálem jsou lehké velkoplošné hliníkové profily, které jsou svařované. Strojvedoucí sedí v přední části kabiny v koncovém vozu. Tyto vozy jsou usazeny na hliníkové konstrukci a vyrobené z kompozitních materiálů, mají na předním čele automatické spřáhla Dellner. V nečinném stavu, jsou tyto spřáhla zasunuta a zakrytována. Osm šroubů spojuje skřín každého vozu s kolébkou podvozku. [18]

#### 4.1.3 Podvozek

Podvozky u této soupravy jsou dvojího typu. Jednak jsou to podvozky hnací a také běžné. Jak hnací tak i běžné podvozky jsou konstruovány jako dvounápravové kolébkové. Dvoustupňové vypružení v obou směrech je svislé i příčné. Je použito aktivní příčné vypružení, které neustále udržuje těžiště skříně v podélné ose podvozku. Dvě pneumatické skupiny doplněné o tlumiče a napájené tlakovým vzduchem tvoří příčné vypružení. Pro potlačení kolébání skříně jsou podvozky osazeny podélnými tlumiči. Naklápění vozových skříní pro větší rychlost v obloucích je možné až do 8° od svislé osy. To je zajištěno hydraulickými válci pomocí systému TILTRONIX. Elektronická jednotka řídí naklápění za pomoci získávání informací z gyroskopických čidel. Dva trakční motory umístěny na podélných nosnících jsou pod podlahou každého trakčního vozu. [18]

#### 4.1.4 Pneumatické brzdy

Mezi vybavení jednotky patří elektropneumatická brzda, zajišťovací brzda, elektrodynamická a elektromagnetická brzda. První zmíněná elektropneumatická brzda je kotoučová a působí na všechny nápravy. Zajišťovací brzda je střadačového typu a působí na všechny podvozky jednotek, kromě posledního a prvního. [18]



## 4.2 Railjet

Vysokorychlostní vlakové jednotky Viaggio Comfort označily Rakouské spolkové dráhy ÖBB obchodním názvem Railjet, pod kterým je tato souprava známá. Vlak vyrábí společnost Siemens.

### 4.2.1 Historie

Na základě objednávky společnosti Siemens a Rakouských spolkových drah ÖBB probíhaly typové zkoušky na železničním zkušebním okruhu u Cerhenic na Kolínsku ve dnech 11-14. 5. 2009. Následující den 15. 5. 2009 se tato souprava cestou na Ostravský veletrh objevila i na našich tratích. Firma Siemens z opce Rakouských spolkových drah nabídla ČD zcela nevyužitou část z 16 jejich souprav Railjet. ČD dne 13. 6. 2011 veřejně oznámily, že mají zájem o nákup, bohužel o pár dní později oznámil náměstek GČ ČD pro osobní dopravu Antonín Blažek na železničním veletrhu Czech Raildays v Ostravě, že se neuskuteční nasazení Railjetu na trať mezi Prahu a Ostravu. Dne 28. 6. 2011 vznikl spor mezi ČD a společností Škoda Transportation o nákup těchto souprav. V tomto sporu se společnost Škoda Transportation nepodařilo dokázat, že nabízí rovnocenné vlaky za nižší cenu. A tak 30. 9. 2011 ČD podepsaly smlouvu o zakoupení 16 rychlovlaků Railjet se společností Siemens a Rakouskými spolkovými drahami ÖBB. Tyto vlaky měly být použity k provozu na trati z Prahy přes Berlín do Hamburku a taky z Prahy přes Vídeň do Grazu. [19]



Obrázek 1.25: RailJet [46]

Začátkem roku 2012 informovaly ČD o změně původních 16 sedmi vozových souprav na 8 osmi vozových a 7 sedmi vozových jednotek se změnou interiéru a konstrukce. Zvětšila se kapacita míst z původních 6752 na 7355. Tato změna navýšila celkovou cenu o asi 400 milionů českých korun, přičemž cena za jedno sedadlo se snížila. Přibyl také víceúčelový oddíl až pro 10 jízdních kol a objemná zavazadla v posledním voze každé soupravy. Tyto úpravy byly vykonány pro splnění požadavků Německých drah, s nimiž ČD jedná o nasazení Railjetů na trati mezi Prahou a Hamburkem. Také tyto změny zajišťují ekonomičtější provoz.

Lokomotivy řady 380 (Škoda 109E) měly táhnout celou soupravu, přičemž úprava pro tento provoz měla stát 50 až 100 milionů českých korun. ČD potřebovaly finance na nákup vnitrostátních rychlíků a v dubnu 2012 oznámily odstoupení od nákupní smlouvy vlaků Viaggio Comfort. V květnu se celá situace změnila, ČD chtějí koupit 5 sedmidílných souprav, které by sloužily na trati mezi Prahou a Vídní společně s dalšími 5 soupravami od Rakouského ÖBB. V srpnu došlo k odsouhlasení a uzavření smlouvy Dozorčí radou. Smlouva zahrnovala nákup 7 souprav Railjetů firmy Siemes s celkovou cenou 100 milionů eur a její provoz na trase z Prahy přes Brno, Břeclav, Vídeň do Štýrského Hradce. Jednalo se i o koupi 8 Railjetů na trasu Praha - Bratislava - Budapešť ovšem tato smlouva v září 2013 vypršela. Dne 6. 5. 2014 společně s dodáním první soupravy byl oficiálně zahájen zkušební provoz.

### 4.2.2 Technické parametry

V Rakousku jezdí Railjet svojí nejvyšší rychlostí 230 km/h, v ČR je rychlost omezena na 160 km/h. Celková délka je 205 metrů, s hmotností 330 tun a kapacitou 442 míst. Celkový výkon je 6,4 MW a napájení střídavým napětím 15 kV s 16,667 Hz nebo 25 kV s 50 Hz. Vysokorychlostní podvozky SF400 jsou vzduchově vypružené, vozy disponují více systémovým centrálním elektrickým zdrojem s tranzistory IGBT a také má odlehčenou ocelovou konstrukci. Vozy mají mezi sebou centrální spráhla, měchové kryty na přechodech a jsou tlakotěsné. [19]



Obrázek 1.26: RailJet [47]

## 5 Perspektiva vysokorychlostní dopravy na železnici v Evropě

Ve světě zatím jednoznačně vedou klasické koleje, ovšem stále zajímavější volbou jsou Maglev a Hyperloop. Japonsko, Čína, západní a jižní Evropa zde mají vysokorychlostní železnice nejsilnější pozici. Například právě Čína provozuje vlaky s rychlostí dovršující 350 km/h, přičemž dokáží tyto vlaky vyvinout rychlost až 380 km/h. Dalším příkladem je Itálie, kde působí soukromý dopravce NTV provozující francouzské jednotky AGV pojmenované Italo a také státem regulovaný dopravce Trenitalia s jednotkami Frecciarossa 1000. Oboje tyto jednotky jsou připraveny na rychlost až 360 km/h, dokonce výrobce jednotky Frecciarossa 1000 uvádí jejich konstrukční rychlost 400 km/h. Ve skutečnosti Italské rychlovlaky mohou cestovat pouze rychlostí, jenž jim umožňují tratě, a to je 300 km/h. [20]



Obrázek 1.27: *Frecciarossa 1000* [48]

Právě tratě, a jejich technické parametry, jsou hlavní limitující překážkou u tradičních kolejové přepravy na rozdíl od technologií Maglevu a Hyperloopu. Celá železniční trať je vždy stavěna pro určitou maximální rychlost, tomu je i přizpůsobeno zabezpečení, konstrukce spodku a svršku. Pro využití potenciálu nových výkonnějších souprav musí být celá trať upravena, což obvykle znamená roky trvající práce.

Toho jsou i svědkem cestující v ČR. Vlakové soupravy Pendolino dokáží dosáhnout rychlosti až 230 km/h, ovšem tratě na území ČR umožňují maximální rychlost 160 km/h.



Vysokorychlostní železnice plánují do budoucna postavit i Írán, Mexiko či Saúdská Arábie. Čína nadále buduje další nové vysokorychlostní tratě a do roku 2020 má v plánu rozšíření vysokorychlostní sítě na 30 000 km ze současných 19 000 km.

Se zrychlováním vysokorychlostní tratí počítají především země jako Čína a Itálie ale také Rusko, která na budoucí vysokorychlostní trať mezi Moskvou a Kazaní počítá s rychlostí dosahující 400 km/h.

Nejdůležitějším aspektem výstavby nových vysokorychlostních tratí jsou peníze. A právě tradiční železnice mají v tomto stále dost navrch oproti technologiím jako Maglev či Hyperloop. Vysokorychlostní trať stojí průměrně 12 až 30 milionů eur na kilometr délky, kdežto projekt tratě Maglev mezi městem Tokio a Nagoj počítá s cenou 7 miliard na kilometr.

Plán na výstavbu vysokorychlostních železnic v ČR schválila vláda v květnu 2017. Vnitrostátní vysokorychlostní železnice by se měly napojit na všechny 4 okolní státy a stavba této sítě by měla stát 650 miliard korun. Vlaky by se měly pohybovat rychlostí 300 km/h, ovšem začátek výstavby je neznámý, při současné legislativě za 10 až 15 let. Nejdříve by měla vzniknout trať mezi Berlínem a Prahou přes Drážďany. Provádí se i studie, jenž má posoudit trasu nové tratě, po ekonomické, ekologické a technické stránce. Následovat má trať z Prahy do Brna a pokračováním do Ostravy nebo Břeclavi. [20] Jedním z nejdůležitějších aspektů výstavby svršku je trasa. U současných tras v ČR, např. z Prahy do Brna je problém i v častých obloucích trasy. Tyto oblouky limitují vlaky pro průjezd vyšší rychlostí a bude nutno vypracovat studie na návrh nové a přímější trasy.



Obrázek 1.28: Grafický návrh budoucích vlaků [49]

## 6 Lineární motor

Je to druh elektrického indukčního motoru, jehož rotor není otáčivý ale posuvný na rozdíl od běžného elektrického motoru. To vychází z faktu, že stator i rotor jsou rozvinuty do určité délky. Často jsou využívány supravodivé magnety, které jsou chlazeny na nízkou teplotu.

### 6.1 Historie

Princip lineárního motoru byl objeven již v roce 1841 anglickým vynálezcem a fyzikem Charlesem Wheatstonem. Bohužel jeho model byl příliš neefektivní v praxi. Poté v roce 1905 popsal v patentu funkci indukčního motoru vynálezce Alfred Zehden z Frankfurtu nad Mohanem. Také v Německu zkonstruoval první funkční model v roce 1935 inženýr Hermann Kemper.

#### 6.1.1 USA

Praktické zařízení se začaly vyvíjet až po roce 1947. V 50. letech 19. století britský elektroinženýr Eric Laithwaite začal uvažovat o využití lineárního motoru v elektrickém tkacím stroji. Jeho výzkum vzbudil mezinárodní zájem v 60. letech po řeči v Royal Institution nazvaná "Elektrické stroje budoucnosti". Jeho výzkum lineárních motorů vedl také k obnovení zájmu o myšlenku magneticky levitovaného vlaku. V této době také MIT vědec Henry Kolm navrhl "magnaplane" využívající běžné koleje, dosahoval rychlosti 320 km/h a dokázal uvést 20 000 lidí. Toto podnítilo vznik amerického výzkumného programu a vedlo k práci na prototypu testovaného ve městě Colorado v roce 1967. Program se potýkal s politickými problémy a tak byl odložen na rok 1975. V raných 90. letech vznikl ambiciózní návrh a to spojení velkých měst jako Los Angeles, San Diego, Las Vegas a San Francisco pomocí tratě Maglev, ovšem od začátku měl politické problémy.

#### 6.1.2 Německo

Naopak v Německu byl Maglev nadšeně vyvíjen. Vládou sponzorovaný výzkumný projekt vybudování prvního funkčního vlaku Transrapid poháněného lineárním motorem přišel v roce 1969. Vlak převážel cestující pár stovek metrů při rychlosti 80 km/h. Postavila ho Mnichovská firma KraussMaffei, která také pokračovala v budování vylepšených verzí. Po vybudování testovací trati v Severním Německu byl v roce 1979 představen vlak Transrapid 06, který dosahoval rychlosti 311 km/h. Již další generace Transrapid 07 získala certifikaci od vlády na převážení pasažérů v rychlosti 420 km/h v roce 1996. Transrapid používá pro pohyb magnetickou přitažlivost nežli magnetickou odpudivost, která je asociována s Maglevem.

#### 6.1.3 Japonsko

V Japonsku je používán skutečný systém Maglev, kdy vlak pluje na odpudivé síle mezi měděnými či hliníkovými cívkami v trati a řadě niob-titanových supravodivých magnetů, chlazené héliem, ve vlaku.



Roku 1999 začala NASA testovat lineární motor na prototypu Maglev tratě, s vidinou použití pro budoucí cestování vozidel do vesmíru. Dráha pro taková vozidla by musela být dlouhá 1,5 km a umožnit zrychlení vozidla na 600 km/h za 9,5 sekundy.

Použití lineárních motorů v dnešní době je ve všech typech strojů vyžadující právě lineární pohyb jako například jeřáby, pásové dopravníky atd. Ovšem nejznámější využití je u vysokorychlostních vlaků Maglev. Vývoj vlaků Maglev probíhal hlavně v Japonsku a Německu. I když Maglev vytváří velký zájem po světě, jeho cena za kilometr je stále dražší než vybudování klasické vysokorychlostní železnice. [21]

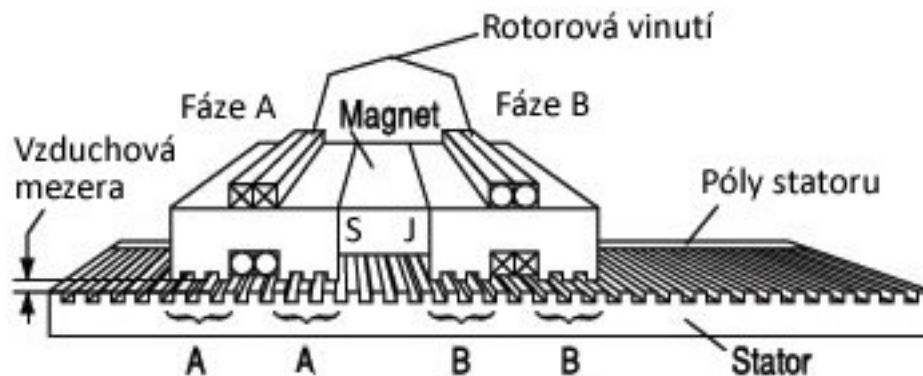
## 6.2 Princip

### 6.2.1 Synchronní lineární motor

Rotor je obdobný jako u klasických strojů. Jako materiál se používá feromagnetický svazek, jenž je složen z elektrotechnických plechů a v jeho drážkách je uloženo třífázové vinutí, které budí permanentní magnet.

Statorem jsou permanentní magnety nalepené na podložce z oceli. Označuje se jako magnetická dráha a délka závisí od konkrétního použití. Při průchodu proudu obvodem vzniká magnetické pole mezi primární a sekundární částí, které uvádí do pohybu jezdce. Velikostí proudu ovlivňujeme rychlost pohybu jezdce. Z toho vyplývá nevýhoda u těchto motorů a tedy nutnost přivedení napájecích kabelů k snímačům, či přivedení chladicí kapaliny.

K regulaci je používán číslicový regulátor s kaskádovým uspořádáním 3 zpětných vazeb (vnější polohová, střední rychlostní a vnější polohové).



Obrázek 1.29: Schéma lineárního motoru [50]

## 7 Přenosová schopnost vedení

Přenosová schopnost vedení neboli ampacita. Tento pojem nám značí maximální proudovou zatížitelnost daného vodiče, aniž by došlo k jeho deformaci či poškození. Proud přenášený vedením nemá konstantní hodnotu, tzn. jeho velikost se mění v čase a je závislá od velikosti zátěže. Přenosová schopnost je poměrně aktuální téma kvůli rozvoji výroby velkých výkonů z odlehlých obnovitelných zdrojů. Tyto výkony je potřeba přenést na velké vzdálenosti pomocí vedení, které nato není často stavěno.

Vzhledem k tomu, že výstavba nového vedení je příliš finančně náročná a také zdlouhavá, je nutné zvýšit přenosové schopnosti stávajících sítí.

Ampacita závisí na:

- elektrických a mechanických vlastnostech materiálu vodičů
- teplotních vlastnostech izolací
- schopnosti rozptýlit uvnitř vodiče vznikající a z okolí přijímané teplo
- okolních povětrnostních podmínkách

Z tvrzení tedy vyplývá, že maximální dovolená proudová zatížitelnost vodičů je závislá od tepelného stavu vodičů. Je známo, že v závislosti na tepelném stavu dochází ke změnám průhybu vedení nad terénem. Tento aspekt je důležitý faktor pro návrh a výstavbu vedení.

## 7.1 Přenosová schopnost vedení závislé na jeho délce

Přenosová schopnost vedení vázaná na délce vedení je převážně dána úbytkem napětí na něm. Tento úbytek napětí je dán rozdílem mezi začátečním napětím a napětím na konci vedení.

$$\Delta U = |U_1| - |U_2| \quad (7.1)$$

### 7.1.1 Úbytek napětí pro induktivní a kapacitní odběr

Úbytek napětí pro induktivní a kapacitní odběr je dán rozdílem fázových napětí na začátku a konci vedení a vychází ze vztahů (Sčítání pro kapacitní odběr a rozdíl pro induktivní odběr):

$$\Delta U = |U_{1f}| - |U_{2f}| \quad (7.2)$$

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos\varphi \pm X \cdot I \cdot \sin\varphi + \frac{(X \cdot I \cdot \cos\varphi - R \cdot I \cdot \sin\varphi)^2}{2U_f} \quad (7.3)$$

Pokud hodnota  $\cos\varphi$  bude větší než 0,5, pak je možné v rovnici 8.2 zanedbat celý zlomek. A výsledná rovnice bude:

$$\Delta U = \sqrt{3}(R \cdot I \cdot \cos\varphi \pm X \cdot I \cdot \sin\varphi) \quad (7.4)$$

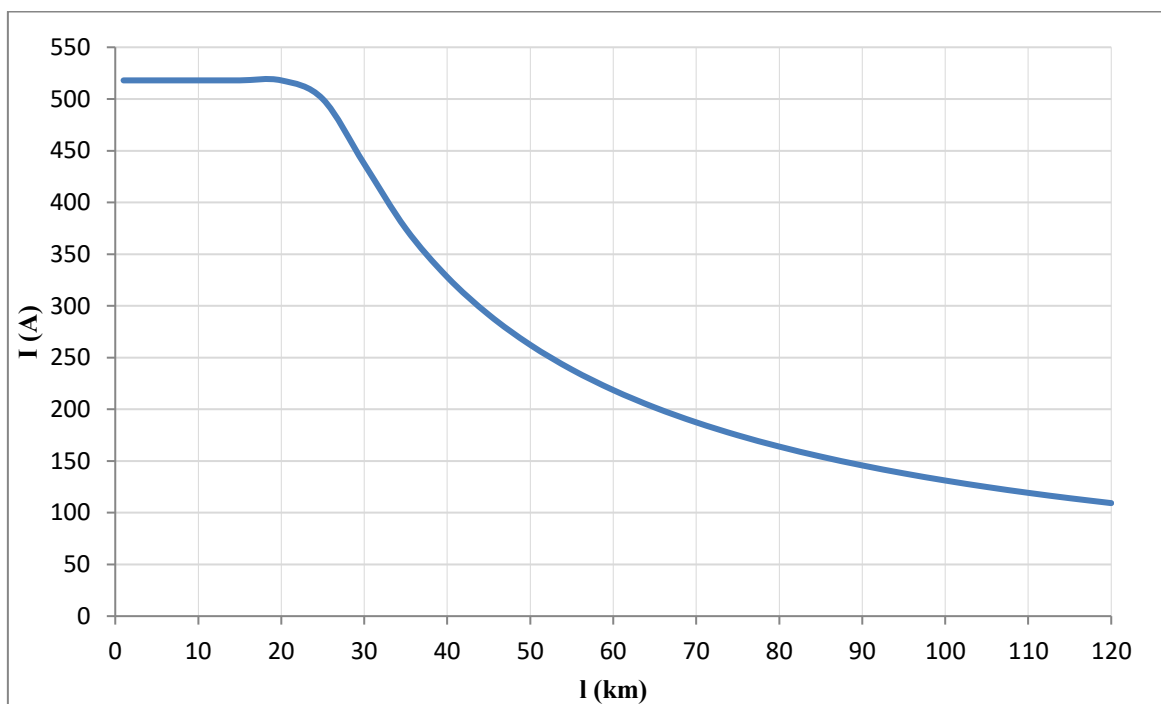
Pro odvezení vztahu pro hodnotu proudu vycházíme z předešlého vztahu 8.4. Maximální úbytek napětí je dán převedením na jeho procentní hodnotou  $\Delta u_{\%}$ .

$$I = \frac{\frac{\Delta u_{\%}}{100} U_1}{\sqrt{3}(R \cdot I \cdot \cos\varphi \pm X \cdot I \cdot \sin\varphi)} \quad (7.5)$$

## 7.2 Výpočet přenosová schopnost vedení závislé na jeho délce

- Jedná se o lano AlFe 240/40
- napětí  $U = 110 \text{ kV}$
- délka vedení  $l = 40 \text{ km}$
- reaktanci  $X = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$
- účinník  $\cos\varphi = 0,95$
- $\Delta u\% = 5\%$ .
- Úbytek napětí se uvažuje při teplotě  $60^\circ\text{C}$   $R = R_{20} \times (1 + \alpha \Delta t) = 0,1188 \times (1 + 0,004 \times 40) = 0,138 \text{ } \Omega/\text{km}$

$$I = \frac{\frac{\Delta u\%}{100} \times U}{\sqrt{3} \times (R \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi)} = \frac{\frac{5}{100} \times 110 \times 10^3}{\sqrt{3} \times (0,138 \times 40 \times 0,95 + 0,4 \times 40 \times 0,31)} = 327,86 \text{ A}$$



Obrázek 1.30: Závislost délky vedení na proudové zatížitelnosti [51]

Tabulka 1.1: *Vypočtené hodnoty*

l (km)	I (A)	$\Delta U$ (V)	U2 (kV)	P2 (MW)
1	518	229,68	116	94,17
5	518	1 148,42	115	94,17
10	518	2 296,84	114	94,17
15	518	3 445,26	113	94,17
20	518	4 593,68	112	94,17
25	518	5 742,09	111	94,17
30	437,15	5 815,00	110	79,47
35	374,7	5 815,00	110	68,12
40	327,86	5 815,00	110	59,60
45	291,43	5 815,00	110	52,98
50	262,29	5 815,00	110	47,68
55	238,44	5 815,00	110	43,35
60	218,57	5 815,00	110	39,74
65	201,76	5 815,00	110	36,68
70	187,35	5 815,00	110	34,06
75	174,86	5 815,00	110	31,79
80	163,93	5 815,00	110	29,80
85	154,29	5 815,00	110	28,05
90	145,72	5 815,00	110	26,49
95	138,05	5 815,00	110	25,10
100	131,14	5 815,00	110	23,84
105	124,9	5 815,00	110	22,71
110	119,22	5 815,00	110	21,67
115	114,04	5 815,00	110	20,73
120	109,29	5 815,00	110	19,87



## 8 Závěr

Tato bakalářská práce si kladla za cíl popsání vysokorychlostní železniční dopravy ve světě a rovněž v Evropě. Cílem bylo přiblížit a specifikovat jednotlivé typy vysokorychlostních vlaků, železnic. V první kapitole jsem se zaměřil na historii železniční dopravy a její vývoj během druhé světové války a v průběhu dalších let. Důležitým aspektem bylo také popsání výhod a nevýhod vysokorychlostních tratí. Druhá kapitola už pojednává o rozboru samotných nejvýznamnějších železničních systémech ve světě. Zabýval jsem se francouzskou vlakovou soupravou TGV a také dalšími typy. Dále vlakem AGV, Pégase a japonským Shinkansenem, se kterým jsem měl možnost se osobně setkat a cestovat s ním na nejvytíženější trase z Osaky do Tokya. Tento zážitek podrobně popisuji ve třetí kapitole. Další zkoumanou železniční soupravou, je německý ICE, jenž vychází z několika generací, které dále popisuji v podkapitolách. U vysokorychlostního vlaku Maglev jsem se zaměřil na rozbor jeho dvou typů zavěšení, elektrodynamického a elektromagnetického. Od vysokorychlostních vlaků jsem se ve čtvrté kapitole přesunul do České republiky a mým cílem bylo přiblížit vlaky vyšších rychlostí vyskytující se na území ČR. Jako nejdůležitějšího zástupce jsem pro svůj popis zvolil železniční soupravu Pendolino, jelikož v České republice dosahuje nejvyšších rychlostí. Pokusil jsem se o přiblížení historie tohoto vlaku, jeho trati, technické parametry, a také popis jeho podvozku s naklápěcím systémem. Railjet je dalším zástupcem vlaků vyšších rychlostí objevující se v České republice. Pátou kapitolu jsem věnoval perspektivě vysokorychlostní železniční dopravy v Evropě a problematiku železnic konkrétně v České republice, kde jsou železnice stavěny jen pro určitou maximální rychlost, tudíž rychlejší vlaky typu Pendolino musí být omezeny. Kapitola šest má za cíl popsat lineární motor, jeho historii, systém jeho fungování a vývoj v USA, Německu a Japonsku. V poslední sedmé kapitole popisuji přenosovou schopnost vedení závislé na jeho délce, kterou jsem doplnil výpočtem.

---

## Použitá literatura

- [1] POKORNÝ, Bohumil. UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY VYSOKORYCHLOSTNÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY: Historie vysokorychlostní železniční dopravy [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: [http://www.railvolution.net/czechraildays/2008/seminare/v1\\_1.pdf](http://www.railvolution.net/czechraildays/2008/seminare/v1_1.pdf)
- [2] HIGH SPEED RAIL HISTORY [online]. 2015 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://uic.org/High-Speed-History>
- [3] High-Speed Rail History and Facts. Train History [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://www.trainhistory.net/railway-history/high-speed-rail/>
- [4] French Train Hits 357 MPH Breaking World Speed Record [online]. 2017 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://www.foxnews.com/story/2007/04/04/french-train-hits-357-mph-breaking-world-speed-record.html>
- [5] HIGH SPEED PRINCIPLES AND ADVANTAGES: HIGH SPEED ADVANTAGES [online]. 2015 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://uic.org/High-Speed-principles-and>
- [6] VYSOKORYCHLOSTNÍ ŽELEZNICE = VYSOKORYCHLOSTNÍ TRATĚ + RYCHLOVLAKY: Výhody a nevýhody vysokorychlostní železnice [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/>
- [7] TGV France High Speed Railways operated by SNCF [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/projects/frenchtgv/>
- [8] The History of the French High Speed Rail Network and TGV [online]. 2015 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://electric-rly-society.org.uk/the-history-of-the-french-high-speed-rail-network-and-tgv/>
- [9] AGV tests reach 360 km/h [online]. 2008 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/agv-tests-reach-360-kmh.html>
- [10] AGV tailors capacity and performance to the market [online]. 2007 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/agv-tailors-capacity-and-performance-to-the-market.html>
- [11] The Shinkansen Turns 50: The History and Future of Japan's High-Speed Train [online]. 2014.10.01 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.nippon.com/en/features/h00078/>
- [12] RYCHLOVLAKY ICE [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/rychlovlaky-ice/>

- 
- [13] MAGLEV RYCHLOVLAKY [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/maglev-rychlovlak/>
- [14] Maglev [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Maglev>
- [15] E.BOSLAUGH, Sarah. Maglev train [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/maglev-train>
- [16] Elektrická jednotka 680 [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1\\_jednotka\\_680](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_jednotka_680)
- [17] KAPLAN, Jaromír. Pendolino – chloubu nebo ostuda Českých drah? [online]. 2012 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.ekontech.cz/clanek/pendolino-chloubu-nebo-ostuda-ceskych-drah>
- [18] PENDOLINO [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-680.html>
- [19] KOVÁČ, Juraj. Na zkušebním okruhu probíhá testování soupravy railjet [online]. 13.5.2009 (16:00), , - [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <http://www.zelpage.cz/zpravy/7128>
- [20] Maglev, hyperloop nebo klasický vlak: Jaká je budoucnost dopravy? [online]. 2017 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/veda/2040286-maglev-hyperloop-nebo-klasicky-vlak-jaka-je-budoucnost-dopravy>
- [21] LIASI, Sahand. What are linear motors? [online]. 2015, , - [cit. 2018-04-03]. DOI: 10.13140/RG.2.2.16250.18887.
- [22] Pantograph (transport) [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: [http://www.wikiwand.com/en/Pantograph\\_\(transport\)](http://www.wikiwand.com/en/Pantograph_(transport))
- [23] Sběrače, odpojovače, uzemňovače [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/page-sberace.html>
- [24] Pantograph [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://www.toyodenki.co.jp/en/products/transport/train/panto.php>
- [25] BARTÍK, Petr. V brněnském depu dokončují opravu kotle lokomotivy Šlechtična. In: Elogistika [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://www.elogistika.info/wp-content/uploads/2016/08/ftg\\_slechticna\\_vlak\\_historicky\\_sup\\_\\_3\\_\\_galerie-980.jpg](https://www.elogistika.info/wp-content/uploads/2016/08/ftg_slechticna_vlak_historicky_sup__3__galerie-980.jpg)
- [26] Genesis. In: TEE designs [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://cdn.retours.eu/nl/14-design-trans-europ-express/enlarge/TEE-brochure-1957-1.jpg>
-

- 
- [27] 0 Series Shinkansen. In: Locomotive Wiki [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://vignette.wikia.nocookie.net/locomotive/images/0/0c/0\\_Q4\\_Kodama\\_Hakata.jpg/revision/latest?cb=20120109011918](https://vignette.wikia.nocookie.net/locomotive/images/0/0c/0_Q4_Kodama_Hakata.jpg/revision/latest?cb=20120109011918)
- [28] L'Aérotrain Bertin & Cie (1976). In: One360 [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://one360.eu/blog/wp-content/uploads/2012/04/Aerotrain.jpg>
- [29] TERFLOTH, S. ICE1 Fahlenbach. In: One360 [online]. 2007 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/ICE1\\_Fahlenbach.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/ICE1_Fahlenbach.jpg)
- [30] TERFLOTH, S. Pendolino ETR 401 [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/ICE1\\_Fahlenbach.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/ICE1_Fahlenbach.jpg)
- [31] FRYBOURG, Jean-Marc. RYCHLOVLAKY TGV [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2012/10/TGV\\_rychlost\\_rekord\\_Jean-Marc\\_Frybourg\\_2007.jpg](https://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/wp-content/uploads/2012/10/TGV_rychlost_rekord_Jean-Marc_Frybourg_2007.jpg)
- [32] Bordeaux train map [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://maps-bordeaux.com/bordeaux-train-map>
- [33] TGV la poste [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.railpictures.net/showimage.php?id=359826&key=1087671>
- [34] DOLEJŠÍ, Milan. Bez vysokorychlostních tratí budeme evropští outsideři [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [http://www.ceskatelevize.cz/ct24/sites/default/files/styles/scale\\_1180/public/images/1020965-184369.jpg?itok=P1-bLXxA](http://www.ceskatelevize.cz/ct24/sites/default/files/styles/scale_1180/public/images/1020965-184369.jpg?itok=P1-bLXxA)
- [35] KORSCH, Reinhard. Automotrice à Grande Vitesse, kurz AGV, Frankreichs neuer Superzug [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.bahnbilder.de/bilder/automotrice--grande-vitesse-kurz-227802.jpg>
- [36] NOZOMI SHINKANSEN 500 [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [http://www.npid.com/files/projekte/Nozomi%20Shinkansen%20500/Shinkansen500\\_Slider\\_03.jpg](http://www.npid.com/files/projekte/Nozomi%20Shinkansen%20500/Shinkansen500_Slider_03.jpg)
- [37] Shinkansen [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://www.japan-guide.com/g17/2018\\_future.gif](https://www.japan-guide.com/g17/2018_future.gif)
- [38] TERFLOTH, S. ICE1 Fahlenbach [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/98/ICE1\\_Fahlenbach.jpg/800px-ICE1\\_Fahlenbach.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/98/ICE1_Fahlenbach.jpg/800px-ICE1_Fahlenbach.jpg)
-

- 
- [39] ICE HIGH-SPEED TRAIN ROUTES [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://www.eurail.com/sites/eurail.com/files/styles/asset\\_image\\_train\\_full\\_route\\_map/public/assets/images/2014/07/ice.jpg?itok=U7al8bm-](https://www.eurail.com/sites/eurail.com/files/styles/asset_image_train_full_route_map/public/assets/images/2014/07/ice.jpg?itok=U7al8bm-)
- [40] TERFLOTH, S. The National Railway Network in Germany [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [http://sinfin.net/railways/world/germany/ICE\\_3\\_Oberhaider-Wald-Tunnel.jpg](http://sinfin.net/railways/world/germany/ICE_3_Oberhaider-Wald-Tunnel.jpg)
- [41] MANUEL, Mei. Five Maglev Lines to Be Constructed by 2020 in China [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [http://sinfin.net/railways/world/germany/ICE\\_3\\_Oberhaider-Wald-Tunnel.jpg](http://sinfin.net/railways/world/germany/ICE_3_Oberhaider-Wald-Tunnel.jpg)
- [42] [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://pbs.twimg.com/media/DY-\\_uPiUQAA2W9E.jpg](https://pbs.twimg.com/media/DY-_uPiUQAA2W9E.jpg)
- [43] JR Maglev-Lev [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/dc/JR\\_Maglev-Lev.png/320px-JR\\_Maglev-Lev.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/dc/JR_Maglev-Lev.png/320px-JR_Maglev-Lev.png)
- [44] ŠTÁHLAVSKÝ, Petr. Jízdní řád 2015/2016 zkrátí cestovní doby nejen u Pendolina. In: Železničář [online]. 2015 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://zeleznicar.cd.cz/assets/zeleznicar/zpravodajstvi/spoje-712.jpg>
- [45] Kam jezdí SC Pendolino? [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/nase-vlaky/supercity/pendolino/-26950/>
- [46] Railjet. In: České dráhy [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/images/cdosn/railjet-980x300.jpg>
- [47] Railjet. In: České dráhy [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [http://bluetrains.cz/wp-content/uploads/photo-gallery/JEDNOTKY/railjet/railjet\\_18.jpg](http://bluetrains.cz/wp-content/uploads/photo-gallery/JEDNOTKY/railjet/railjet_18.jpg)
- [48] Nejrychlejší evropský vlak Frecciarossa 1000 zahájil provoz. In: Elogistika [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.elogistika.info/wp-content/uploads/2015/06/frecciarossa-1000-auch-zefiro-300-818409-e1434356114816.jpg>
- [49] Non-Stop Rail: 2 Future Trains Pick Up Passengers in Motion. In: Web urbanist [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://weburbanist.com/wp-content/uploads/2015/01/bullet-train-moving-alongside-960x265.jpg>
- [50] Princip - Lineární motor. In: Pohonnatechnika [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/shared/upload/editor/Linear%201.jpg>
-



- 
- [51] ŠAFRÁNEK, Radek. railgallery [online]. [cit. 8.4.2018]. Dostupný na WWW:  
<http://www.railgallery.cz/beta/admin/expanded/87%20z%C3%A1vada%20na%20380%20007/02.jpg>
- [52] DOC. ING. POHL, Rudolf Csc. Dopravní prostředky v plánech a obrazech. Železniční vozidla. Praha: ČVUT Thákurova 1, 160 41 Praha 6. ISBN 978-80-01-04165-9